



## **TUGAS AKHIR - MO141326**

### **ANALISIS PENGARUH SUHU *PREHEATING* PADA PENGELASAN BAJA KARBON SEDANG (ASTM A53) TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KETAHANAN KOROSI *WELD JOINT* PADA LINGKUNGAN LAUT**

**Hasri Palgunadhi**

**NRP. 4313100002**

**DOSEN PEMBIMBING:**

**Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.**

**Dirta Marina C, S.T., M.T.**

**Departemen Teknik Kelautan**

**Fakultas Teknologi Kelautan**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya 60111**

**2017**



**FINAL PROJECT - MO141326**

**PREHEATING TEMPERATURE EFFECT ANALYSIS ON MEDIUM  
CARBON STEEL (ASTM A53) WELDING ON THE MECHANICAL  
PROPERTIES AND CORROSION RESISTANCE OF WELD JOINT  
AT MARINE**

**Hasri Palgunadhi**

**NRP. 4313100002**

**SUPERVISOR :**

**Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.**

**Dirta Marina C, S.T., M.T.**

**Departemen Teknik Kelautan**

**Fakultas Teknologi Kelautan**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya 60111**

**2017**

**ANALISIS PENGARUH SUHU PREHEATING PADA PENGELASAN  
BAJA KARBON SEDANG (ASTM A53) TERHADAP SIFAT MEKANIK  
dan KETAHANAN KOROSI WELD JOINT PADA LINGKUNGAN LAUT**

**TUGAS AKHIR**

Ditujukan Untuk Memenuhi Salah Satu

Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Hasri Palgunadhi**

NRP : 4313100002

Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D. .... (Pembimbing 1)

2. Dirta Marina C, S.T., M.T. .... (Pembimbing 2)

3. Yoyok Setyo H, S.T., M.T., Ph.D. .... (Penguji 1)

4. Ir. J.J. Soedjono, M.Sc. .... (Penguji 2)

5. Wimala Lalitya D, S.T., M.T. .... (Penguji 3)

Surabaya, Juli 2017

**Analisis Pengaruh Suhu *Preheating* Pada Pengelasan Baja Karbon Sedang  
(ASTM A53) Terhadap Sifat Mekanik dan Ketahanan  
Korosi *Weld Joint* Pada Lingkungan Laut**

**Nama** : Hasri Palgunadhi  
**NRP** : 4313100002  
**Departemen** : Teknik Kelautan  
**Dosen Pembimbing** : Herman Pratikno, S.T., MT., Ph.D  
Dirta Marina C, S.T., M.T.

**ABSTRAK**

Pengelasan adalah proses penyambungan logam dengan memanfaatkan energi panas. Pengelasan yang memanfaatkan energi panas ini mengakibatkan terjadinya siklus thermal. Karena hal tersebut maka menyebabkan perubahan-perubahan sifat metalurgi yang rumit, deformasi dan tegangan thermal. Siklus thermal adalah proses pemanasan dan pendinginan di daerah lasan (*weld joint*). Lama waktu siklus thermal dalam proses pengelasan sangat mempengaruhi kualitas hasil lasan. Banyak upaya dilakukan untuk mengendalikan pendinginan ataupun pemanasan pada logam yang dilas. Salah Satu cara untuk mengendalikan siklus thermal tersebut adalah dengan perlakuan panas sebelum proses pengelasan. Pada tugas akhir penelitian menggunakan material jenis baja karbon sedang (ASTM A53), pada penelitian ini akan dilakukan analisis pengaruh suhu pemanasan mula (*preheating*) terhadap sifat mekanik dan ketahanan korosi sambungan las (*weld joint*) pada lingkungan laut. Pemanasan mula pada penelitian tugas akhir ini dengan suhu 100<sup>0</sup>C, 200<sup>0</sup>C dan 300<sup>0</sup>C. Metode pengelasan yang digunakan adalah *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). Setelah dilakukan pengelasan spesimen selanjutnya diuji korosi menggunakan sel tiga elektroda, uji kekerasan dengan metode *vickers*, uji kekuatan dengan uji tarik dan uji metalografi untuk mengetahui bentuk struktur material. Setelah pengujian dilakukan, didapatkan perlakuan variasi 200<sup>0</sup>C yang memberikan hasil terbaik.

**Kata Kunci** : *Preheating, Shielded Metal Arc Welding (SMAW), ASTM A53*

**Preheating Temperature Effect Analysis on Medium Carbon Steel (ASTM A53) Welding on the Mechanical Properties and Corrosion Resistance of Weld Joint at Marine**

**Name : Hasri Palgunadhi**  
**NRP : 4313100002**  
**Departemen : Teknik Kelautan**  
**Lecturers : Herman Pratikno, S.T., MT., Ph.D**  
**Dirta Marina C, S.T., M.T.**

**ABSTRACT**

Welding is the process of joining metals by utilizing heat energy. Welding utilizing heat energy resulted in a thermal cycle. Because of this it causes changes in metallurgical properties are complicated, deformation and thermal stress. Thermal cycle is the process of heating and cooling in the weld joint zone. The time of thermal cycle and welding process very influential to quality of weld joint. There are many ways to control the cooling or heating on the metal being welded. One of many ways to control thermal cycle is the heat weld treatment. On this final exam research, use medium carbon steel material (ASTM A53). In this research will be analyzed the influence of preheating temperature on mechanical properties and corrosion resistance on marine. The temperature of preheating on this research are consist of 100<sup>0</sup>C, 200<sup>0</sup>C and 300<sup>0</sup>C. The welding method in this research is shielded metal arc welding (SMAW). After welding process of specimen finish, then our specimens tested for corrosion resistance use potentiostat autolab, hardness test use vickers method, tensile strength test and metallography test to know the shape of material structure. After the material test was done, the preheat treatment of 200<sup>0</sup>C variation gave the best result.

**Key words : *Preheating, Shielded Metal Arc Welding (SMAW), ASTM A53***

## KATA PENGANTAR

Segala puji tertuju kepada Allah SWT Tuhan semesta alam karena atas cinta kasihNya dan hidayahNya yang senantiasa selalu tercurahkan, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir tanpa halangan suatu apapun.

Laporan tugas akhir ini memberikan laporan atas apa yang didapatkan penulis selama melakukan penelitian mengenai pengaruh suhu *preheating* pada pengelasan baja karbon sedang terhadap sifat mekanik dan ketahanan korosi *weld joint* pada lingkungan laut

Tidak hanya untuk menyelesaikan mata kuliah wajib, ada beberapa hal penting yang penulis dapatkan selama mengerjakan tugas akhir. Dengan melakukan tugas akhir ini mahasiswa diharapkan setelah lulus mampu memahami bagaimana ilmu yang mereka dapatkan di perguruan tinggi dan dapat diterapkan dalam dunia industri. Penulis mendapatkan banyak manfaat dalam proses mengerjakan tugas akhir ini, mendapatkan pengetahuan dan pengalaman tentang bagaimana penelitian mengenai pengelasan yang sebenarnya, menyelesaikan masalah pada proses penelitian, menyelesaikan tahap demi tahap hingga tuntas.

Tiada gading yang tak retak, begitu bunyi pepatah, begitu juga dalam makalah tugas akhir ini. Jika dikemudian hari ditemukan beberapa kesalahan dalam penulisan makalah tugas akhir ini penulis sangat terbuka dalam menerima kritik dan saran yang senantiasa membangun. Akhir kata dengan segala kerendahan hati, dan berharap semoga makalah tugas akhir ini dapat memberikan banyak manfaat bagi kita semua.

Surabaya, 07 Juli 2017

Hasri Palgunadhi

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada semua elemen yang telah membantu terselesaikannya tugas akhir, mereka adalah:

1. Allah SWT Tuhan semesta alam yang senantiasa memberikan hidayahNya.
2. Nabi Muhammad SAW Sang juru selamat umat manusia dari segala kesesatan.
3. Ibu yang selalu memberikan cinta kasih dan doa restu sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir.
4. Ayah yang selalu memberikan dukungan, semangat dan membesarkan hati penulis sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan lancar.
5. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D. sebagai dosen pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan, saran dan dukungan.
6. Dirda Marina, S.T., M.T., sebagai dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, pengetahuan dan nasihat.
7. Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T, M.Sc, sebagai dosen wali yang telah memberikan saran dan dukungan.
8. Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T, M.T., sebagai kepala jurusan Teknik Kelautan yang telah memberikan banyak pengetahuan.
9. Pegawai administrasi Jurusan Teknik Kelautan yang telah membantu dalam proses administrasi.
10. Pieter Ardianto dan Bayu Dwi Handoko, M Faris F Asfarur R, F Vega A GEMA SQUAD sebagai mitra penulis selama mengerjakan tugas akhir, yang selalu memberikan dukungan moral dan semangat.
11. Semua Mahasiswa Teknik Kelautan khususnya L-31 “VALTAMERI” yang telah memberikan dukungan.
12. The Bledex yang selalu setia menemani kesana kemari.
13. Inisial EY atas doa dan semangat yang sudah diberikan.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GRAFIK.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi

## BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Manfaat .....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Hipotesis Awal .....	5

## BAB II DASAR TEORI

2.1 Baja Karbon .....	7
2.1.1 Baja Karbon Rendah .....	7
2.1.2 Baja Karbon Sedang.....	7
2.1.3 Baja Karbon Tinggi .....	8
2.1.4 Siklus Thermal Baja Karbon .....	8
2.1.5 Fasa Baja Karbon .....	10
2.1.5.1 Ferrite .....	10
2.1.5.2 Austenite .....	10
2.1.5.3 Cementite .....	10
2.1.5.4 Perlite .....	10



2.1.5.5	Martensit .....	10
2.2	Baja Karbon Sedang (ASTM A53) .....	11
2.3	Pengertian Las .....	11
2.4	Las Busur Listrik.....	12
2.4.1	Pengertian Las SMAW.....	13
2.4.2	Kelebihan dan Kekurangan Las SMAW .....	16
2.4.2.1	Kelebihan .....	16
2.4.2.2	Kekurangan .....	16
2.4.3	Peralatan Las SMAW .....	16
2.4.3.1	Sumber Tegangan .....	16
2.4.3.2	Kabel Masa dan Kabel Elektroda.....	17
2.4.3.3	Pemegang Elektroda dan Klem Massa.....	18
2.4.3.4	Palu Las dan Sikat Kawat .....	18
2.5	Posisi Pengelasan .....	19
2.5.1	Posisi Pengelasan Dibawah Tangan.....	19
2.5.2	Posisi Pengelasan Mendatar .....	19
2.5.3	Posisi Pengelasan Tegak .....	20
2.5.4	Posisi Pengelasan Diatas Kepala.....	20
2.6	Pemanasan Mula .....	21
2.7	Metalurgi Las .....	22
2.8	Pengujian Hasil Las.....	23
2.8.1	Uji Tidak Merusak Radiografi .....	24
2.8.2	Uji Korosi Dengan Salinitas 3.5% .....	25
2.8.2.1	Laju Korosi .....	25
2.8.2.2	Sel Tiga Elektroda.....	26
2.8.3	Uji Kekuatan Tarik.....	28
2.8.4	Uji Kekerasan Vickers .....	30
2.8.5	Uji Metalografi.....	31
2.8.5.1	Uji Foto Makro.....	31
2.8.5.2	Uji Foto Mikro .....	31
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>		
3.1	Diagram Alir .....	35

3.2	Penjelasan Diagram Alir .....	37
1.	Studi Literatur .....	37
2.	Persiapan Material Uji .....	37
3.	Persiapan Larutan Media Uji .....	38
4.	Proses Pengelasan .....	39
5.	Uji Tidak Merusak (NDT) .....	43
6.	Uji Ketahanan Spesimen Pada Korosi Lingkungan Laut .....	43
7.	Uji Kekuatan Tarik .....	44
8.	Uji Kekerasan <i>Vickers</i> .....	44
9.	Uji Metalografi.....	45
10.	Analisis dan Pembahasan.....	46
11.	Kesimpulan dan Saran .....	46
<b>BAB IV ANALISIS dan PEMBAHASAN</b>		
4.1	<i>Welding Procedure Spesification</i> .....	47
4.1.1	WPS pada Material Tanpa Pemanasan Mula .....	48
4.1.2	WPS pada Material Dengan Pemanasan Mula 100°C .....	50
4.1.3	WPS pada Material Dengan Pemanasan Mula 200°C .....	51
4.1.4	WPS pada Material Dengan Pemanasan Mula 300°C .....	52
4.2	Hasil Penelitian Pengelasan .....	54
4.2.1	Uji Tidak Merusak .....	54
4.2.2	Uji Ketahanan Korosi.....	58
4.2.3	Uji Mekanik.....	63
4.2.3.1	Uji Kekuatan Tarik.....	63
4.2.3.2	Uji Kekerasan <i>Vickers</i> .....	71
4.2.3.3	Uji Metalografi.....	78
4.3	Analisis Temperatur <i>Preheating</i> Paling Optimal.....	92
<b>BAB V KESIMPULAN dan SARAN</b>		
5.1	Kesimpulan .....	93
5.2	Saran .....	94
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>95</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Fasa Baja Karbon .....	8
Gambar 2.2	Ilustrasi Pengelasan SMAW .....	15
Gambar 2.3	Sketsa Hasil Las SMAW .....	15
Gambar 2.4	Mesin Las SMAW .....	17
Gambar 2.5	Kabel Las Listrik SMAW .....	17
Gambar 2.6	Penjepit Elektroda dan Klem Massa.....	18
Gambar 2.7	Palu dan Sikat Kawat .....	18
Gambar 2.8	Posisi Pengelasan Dibawah Tangan .....	19
Gambar 2.9	Posisi Pengelasan Mendatar .....	20
Gambar 2.10	Posisi Pengelasan Tegak.....	20
Gambar 2.11	Posisi Pengelasan Diatas Kepala .....	21
Gambar 2.12	Daerah Las .....	23
Gambar 2.13	Ilustrasi NDT Radiografi .....	24
Gambar 2.14	Alat Uji Sel Tiga Elektroda .....	27
Gambar 2.15	Contoh Spesimen Uji Tarik .....	28
Gambar 2.16	Kurva Tegangan dan Regangan.....	29
Gambar 2.17	Ilustrasi <i>Vickers Hardness Test</i> .....	30
Gambar 2.18	Permukaan Spesimen Setelah Dietsa.....	32
Gambar 2.19	Ilustrasi Arah Cahaya Pada Foto Mikro .....	32
Gambar 2.20	Fasa Baja Karbon .....	33
Gambar 2.21	Persegi Metode <i>Point Counting</i> .....	33
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	36
Gambar 3.2	Spesimen Las .....	37
Gambar 3.3	Spesimen las setelah dibevel .....	40
Gambar 3.4	Elektroda AWS E 7016 .....	41
Gambar 3.5	Proses <i>Preheating</i> .....	42
Gambar 3.6	Alat <i>Potensiostat Autolab</i> .....	43
Gambar 3.7	Alat Uji Tarik .....	44
Gambar 3.8	Alat Uji Kekerasan <i>Vickers</i> .....	45
Gambar 3.9	Perangkat Pengamatan Metalografi.....	45

Gambar 4.1	Spesimen ASTM A53 Sebelum dilas .....	48
Gambar 4.2	Hasil Las Tanpa Pemanasan Mula .....	49
Gambar 4.3	Hasil Las Dengan Pemanasan Mula 100°C.....	51
Gambar 4.4	Hasil las Dengan Pemanasan Mula 200°C .....	52
Gambar 4.5	Hasil Las Dengan Pemanasan Mula 300°C.....	53
Gambar 4.6	Hasil NDT 0° Tanpa Pemanasan Mula .....	54
Gambar 4.7	Hasil NDT 90° Tanpa Pemanasan Mula .....	55
Gambar 4.8	Hasil NDT 0° Pemanasan Mula 100° C .....	55
Gambar 4.9	Hasil NDT 90° Pemanasan Mula 100° C .....	56
Gambar 4.10	Hasil NDT 0° Pemanasan Mula 200° C .....	56
Gambar 4.11	Hasil NDT 90° Pemanasan Mula 200° C .....	57
Gambar 4.12	Hasil NDT 0° Pemanasan Mula 300° C .....	57
Gambar 4.13	Hasil NDT 90° Pemanasan Mula 300° C .....	58
Gambar 4.14	Hasil Uji Korosi Las Tanpa Pemanasan Mula.....	59
Gambar 4.15	Hasil Uji Korosi Las Dengan Pemanasan Mula 100°C.....	60
Gambar 4.16	Hasil Uji Korosi Las Dengan Pemanasan Mula 200°C.....	61
Gambar 4.17	Hasil Uji Korosi Las Dengan Pemanasan Mula 300°C.....	61
Gambar 4.18	Mesin Pemotong Spesimen .....	64
Gambar 4.19	Pembentukan Spesimen Tarik .....	64
Gambar 4.20	Spesimen Tarik Siap Uji.....	65
Gambar 4.21	Spesimen Setelah Diuji Tarik.....	65
Gambar 4.22	Grafik Uji Tarik Spesimen 1.1 dan 1.2.....	66
Gambar 4.23	Grafik Uji Tarik Spesimen 2.1 dan 2.2.....	67
Gambar 4.24	Grafik Uji Tarik Spesimen 3.1 dan 3.2.....	67
Gambar 4.25	Grafik Uji Tarik Spesimen 4.1 dan 4.2.....	68
Gambar 4.26	Spesimen Uji Kekerasan.....	72
Gambar 4.27	Spesimen Setelah dipoles .....	73
Gambar 4.28	Spesimen uji metalografi setelah dipoles .....	80
Gambar 4.29	Hasil Foto Makro Spesimen las tanpa <i>pre heating</i> .....	80
Gambar 4.30	Hasil Foto Makro Spesimen Las dengan pre heating 100°C.....	81
Gambar 4.31	Hasil Foto Makro Spesimen Las dengan pre heating 200°C.....	81

Gambar 4.32	Hasil Foto Makro Spesimen Las dengan pre heating 300°C.....	82
Gambar 4.33	Struktur Mikro <i>Base Metal</i> ASTM A53 .....	83
Gambar 4.34	Struktur Mikro <i>HAZ</i> las tanpa <i>pre heating</i> .....	84
Gambar 4.35	Struktur Mikro <i>Weld Metal</i> las tanpa <i>pre heating</i> .....	85
Gambar 4.36	Struktur Mikro <i>HAZ</i> las dengan <i>pre heating</i> 100°C .....	85
Gambar 4.37	Struktur Mikro <i>Weld Metal</i> las dengan <i>pre heating</i> 100°C .....	86
Gambar 4.38	Struktur Mikro <i>HAZ</i> las dengan <i>pre heating</i> 200°C .....	87
Gambar 4.39	Struktur Mikro <i>Weld Metal</i> las dengan <i>pre heating</i> 200°C .....	88
Gambar 4.40	Struktur Mikro <i>HAZ</i> las dengan <i>pre heating</i> 300°C .....	89
Gambar 4.41	Struktur Mikro <i>Weld Metal</i> las dengan <i>pre heating</i> 300°C .....	90

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Baja Karbon .....	7
Tabel 2.2	Komposisi ASTM A53 .....	11
Tabel 2.3	Suhu Pemanasan Baja Karbon.....	21
Tabel 2.4	Suhu <i>Preheating</i> berdasarkan AWS D1.1 .....	22
Tabel 2.5	Ketahanan Material Terhadap Korosi .....	26
Tabel 3.1	Komposisi Air Laut Buatan.....	39
Tabel 4.1	<i>Welding Procedure Specification</i> tanpa pemanasan mula.....	49
Tabel 4.2	<i>Welding Procedure Specification</i> dengan pemanasan mula 100° C ..	50
Tabel 4.3	<i>Welding Procedure Specification</i> dengan pemanasan mula 200° C ..	52
Tabel 4.4	<i>Welding Procedure Specification</i> dengan pemanasan mula 300° C ..	53
Tabel 4.5	<i>Corrosion Rate</i> .....	62
Tabel 4.6	Hasil Perhitungan Uji Tarik Tanpa Pemanasan Mula .....	66
Tabel 4.7	Hasil Perhitungan Uji Tarik Dengan Pemanasan Mula 100°C .....	67
Tabel 4.8	Hasil Perhitungan Uji Tarik Dengan Pemanasan Mula 200°C .....	68
Tabel 4.9	Hasil Perhitungan Uji Tarik Dengan Pemanasan Mula 300°C .....	69
Tabel 4.10	Perbandingan Uji Tarik Material Induk dengan Spesimen .....	71
Tabel 4.11	Data Hasil Uji Kekerasan Spesimen Tanpa Pre Heating.....	74
Tabel 4.12	Data Hasil Uji Kekerasan Spesimen Dengan Pre Heating 100°C .....	75
Tabel 4.13	Data Hasil Uji Kekerasan Spesimen Dengan Pre Heating 200°C .....	76
Tabel 4.14	Data Hasil Uji Kekerasan Spesimen Dengan Pre Heating 300°C .....	77
Tabel 4.15	Prosentase Pengujian .....	92

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1	<i>Corrosion Rate</i> .....	62
Grafik 4.2	<i>Tensile Strength Speciment</i> .....	70
Grafik 4.3	<i>Yield Strength Speciment</i> .....	70
Grafik 4.4	Hasil <i>Hardness Test</i> .....	78
Grafik 4.5	Lebar <i>Heat Affected Zone</i> .....	83
Grafik 4.6	Prosentase <i>Ferrite</i> dan <i>Pearlite</i> pada <i>HAZ</i> .....	91
Grafik 4.7	Prosentase <i>Ferrite</i> dan <i>Pearlite</i> pada <i>Weld Metal</i> .....	91
Grafik 4.8	Prosentase Pengujian .....	92

## **DAFTAR LAMPIRAN**

- Lampiran 1 Hasil Hitungan dan Tabel Pengujian
- Lampiran 2 Dokumentasi Penelitian



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Teknologi dalam mengolah logam sudah lama dikenal dalam peradaban manusia. Bahkan dalam sejarah manusia purba sudah dikenal dengan jaman logam. Manusia prasejarah sudah mampu mengolah bijih-bijih logam menjadi suatu peralatan seperti nekara, moko dan lain sebagainya. Itu semua menunjukkan betapa pentingnya material logam dalam kehidupan manusia sejak zaman prasejarah hingga zaman modern seperti sekarang ini.

Manusia terus mengembangkan teknologi pengolahan logam seiring berjalannya waktu, termasuk teknologi penyambungan logam. Teknologi penyambungan logam yang umum digunakan pada era sekarang ini adalah pengelasan. Pengelasan pada zaman sekarang ini telah digunakan secara luas dalam menyambung baja-baja konstruksi. Teknologi pengelasan ini banyak dipergunakan karena baja-baja konstruksi yang disambung dengan pengelasan akan lebih cepat dalam pengerjaannya dan lebih ringan dibanding dengan teknologi terdahulu. Sehingga teknologi pengelasan ini dinilai sebagai teknologi penyambungan logam yang paling ekonomis.

Pengelasan adalah suatu proses penggabungan logam dimana logam menjadi satu akibat panas las, dengan atau tanpa pengaruh tekanan, dan dengan atau tanpa logam pengisi. Berdasarkan definisi dari *Dutch Industrie Normen* (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas (Wiryosumarto, 2000).

Industri maritim pada era modern ini sudah semakin maju, baik pada bidang eksplorasi sumber daya alam di lepas pantai maupun pada bidang transportasi laut. Pada bidang eksplorasi lepas pantai contohnya, untuk melakukan eksploitasi sumber daya alam di lepas pantai dibutuhkan struktur sebagai sarana untuk melakukan kegiatan eksploitasi. Struktur lepas pantai tidak ada yang tidak menggunakan material dari logam. Digunakannya logam sebagai material struktur

lepas pantai maka erat kaitannya dengan proses penyambungan antar material logam pada struktur tersebut. Pengelasan merupakan proses penyambungan logam yang sudah lazim digunakan pada pengerjaan struktur lepas pantai.

Teknik penyambungan logam pada dasarnya dapat dibedakan menjadi penyambungan sementara (*temporary joint*) dan penyambungan tetap (*permanent joint*), berikut definisi antara keduanya:

1. Penyambungan sementara (*temporary joint*), yaitu teknik penyambungan logam yang dapat dilepas kembali pada sambungannya. Penyambungan yang termasuk dalam jenis ini antara lain keling (*rivet*), klem (*clamp*) dan mur baut.
2. Penyambungan tetap (*permanent joint*), yaitu teknik penyambungan logam dengan cara mengubah struktur logam yang akan disambung dengan melakukan penambahan logam pengisi pada sambungannya. Penyambungan yang termasuk dalam jenis ini antara lain solder, *brazing* dan pengelasan (*welding*).

Selain digunakan untuk penyambungan (*joining*), proses pengelasan juga dapat dipergunakan untuk melakukan reparasi pada struktur misalnya untuk mengisi lubang-lubang pada coran logam, membuat lapisan pada logam, mempertebal bagian-bagian struktur yang sudah aus, dan macam-macam reparasi lainnya. Prosedur pengelasan sering kali terlihat sangat sederhana, tetapi sebenarnya didalam prosesnya banyak masalah-masalah yang harus diatasi dimana pemecahannya memerlukan berbagai macam teknik dan pengetahuan. Oleh sebab itu proses pengelasan menjadi hal yang sangat penting dan membutuhkan penanganan secara serius dalam penggunaannya, karena sedikit kesalahan dalam proses pengelasan dapat menyebabkan hasil pengelasan buruk bahkan dapat menyebabkan kegagalan struktur dan dapat menyebabkan kerugian yang sangat besar.

Sampai saat ini jenis pengelasan sudah sangat bervariasi, salah satu cara pengelasan yang banyak digunakan pada saat ini adalah *shielded metal arc welding* (SMAW) atau las elektroda terbungkus. Elektroda pada pengelasan ini terbungkus oleh fluks. Selama proses pengelasan fluks pembungkus elektroda akan mencair dan membentuk terak menutupi logam cair yang berada di daerah

sambungan (*weld joint*). Fluks yang mencair ini berfungsi sebagai penghalang oksidasi.

Pengelasan dengan metode *shielded metal arc welding* (SMAW) ini mempunyai banyak factor yang dapat mempengaruhi hasil pengelasan antara lain, elektroda yang digunakan, besar arus listrik pada pengelasan dan proses pemerataan panas pada logam yang dilas. Seperti pemanasan yang terjadi pada saat proses pengelasan berlangsung dapat memberi pengaruh terhadap sifat material. Panas yang timbul selama proses pengelasan dapat menyebabkan terjadinya perubahan struktur pada daerah terpengaruh panas (HAZ=*Heat Affected Zone*) (Febrianto dkk, 2000). Pada studi tugas akhir ini meneliti bagaimana hasil dari proses pengelasan metode *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) terhadap ketahanan korosi pada daerah *weld joint* baja karbon sedang (ASTM A53) di lingkungan laut dengan variasi suhu *preheating*.

Baja karbon sedang sangat banyak kegunaanya dalam bidang kemaritiman. Khususnya jenis ASTM A53 banyak digunakan didalam bidang ini sebagai pipa penyalur ataupun system perpipaan didalam kapal. Maka diperlukan penelitian mengenai perlakuan pengelasan yang paling tepat pada jenis baja karbon sedang. Ini dilakukan untuk mengetahui perlakuan pengelasan yang paling tepat untuk baja karbon sedang.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Permasalahan yang akan dibahas dalam studi tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh temperatur *preheating* terhadap sifat mekanik dan ketahanan korosi pada pengelasan baja karbon sedang (ASTM A53) ?
2. Berapa suhu *preheating* yang terbaik untuk las baja karbon sedang (ASTM A53) dengan pengelasan *shielded metal arc welding* (SMAW) ?
3. Bagaimana pengaruh temperatur *preheating* terhadap bentuk struktur mikro baja karbon sedang (ASTM A53) ?

## **1.3 Tujuan**

Tujuan yang ingin dicapai dalam studi tugas akhir ini adalah:

1. Mendapatkan hasil analisis pengaruh temperatur *preheating* terhadap sifat mekanik dan ketahanan korosi pada pengelasan baja karbon sedang (ASTM A53).

2. Mendapatkan hasil analisis suhu *preheating* yang terbaik untuk las baja karbon sedang (ASTM A53) dengan metode pengelasan *shielded metal arc welding* (SMAW).
3. Mendapatkan hasil analisis pengaruh suhu *preheating* terhadap bentuk struktur mikro baja karbon sedang (ASTM A53).

#### **1.4 Manfaat**

Manfaat yang didapat dari penelitian studi tugas akhir ini adalah untuk memberikan informasi tentang pengaruh variasi temperatur *preheating* terhadap sifat mekanik dan ketahanan korosi material baja karbon sedang (ASTM A53) di lingkungan laut dengan pengelasan *shielded metal arc welding* (SMAW) dikarenakan baja ASTM A53. Memberikan masukan sebagai bahan pertimbangan dalam proses pengelasan dengan proses variasi temperatur *preheating* terhadap sifat mekanik dan ketahanan korosi

#### **1.5 Batasan Masalah**

Pembatasan masalah diperlukan untuk menghindari pembahasan studi yang melebar dari konsep awal. dalam studi tugas akhir ini batasan masalahnya sebagai berikut :

1. Jenis material yang digunakan adalah baja seri ASTM A53.
2. Proses pengelasan menggunakan metode *shielded metal arc welding* (SMAW).
3. Bentuk lasan adalah weld joint, dengan posisi pengelasan 1G
4. Bentuk bevel yang digunakan adalah single V groove.
5. Pengelasan dilakukan dengan *preheating* 100°C, 200°C, dan 300°C.
6. Pengelasan dilakukan berdasar WPS (*Welding Procedure Specification*).
7. Pengujian *non destructive test* menggunakan metode radiografi mengacu pada standard ASME IX
8. Pengujian kekuatan tarik menggunakan standard ASME IX
9. Prosedur pengamatan metalografi mengacu pada standard ASTM E3-01.
10. Pengujian kekerasan menggunakan metode *Vickers* mengacu pada standard ASTM E92.
11. Pengujian korosi mengacu pada standard ASTM G-102.

## 1.6 Hipotesis Awal

Hipotesis awal dari penelitian studi tugas akhir ini adalah :

1. Semakin tinggi temperatur *preheating* yang diberikan akan semakin baik sifat mekanik hasil lasan baja karbon sedang ASTM A53. Ini disebabkan karena pemanasan yang diberikan akan meminimalisir perbedaan suhu antara *base metal* dan *weld metal* dan meningkatkan kualitas lasan.
2. Semakin tinggi temperatur *preheating* yang diberikan weld joint akan semakin korosif karena panas yang diberikan mengakibatkan penetrasi yang semakin dalam dan permukaan *weld joint* melebar sehingga rentan mengalami korosi.
3. Pengaruh temperatur *preheating* terhadap struktur mikro baja karbon adalah semakin tinggi panas yang diberikan baja akan semakin banyak mengandung fasa *pearlite*.

*(Halaman Sengaja Dikosongkan)*

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Baja Karbon

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu. Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbon, jika kadar karbon naik maka kekuatan dan kekerasan juga akan bertambah tinggi. Karena itu, baja karbon dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya (Wiryosumarto, 2000).

Tabel 2.1. Klasifikasi Baja Karbon

Jenis	Kadar Karbon (%)	Kek. Luluh (kg/mm <sup>2</sup> )	Kek. Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	Kek. Brinel	Penggunaan
<b>Baja Karbon rendah:</b>					
Baja Lunak Khusus	0,08	18-28	32-36	95-100	Pelat Tipis
Baja Sangat Lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	80-120	Batang, Kawat
Baja Lunak	0,12-0,2	22-30	38-48	100-130	Konstruksi
Baja Setengah Lunak	0,2-0,3	24-36	44-45	112-145	Umum
Baja Karbon Sedang	0,3-0,5	30-40	50-60	140-170	Alat-Alat Mesin
<b>Baja Karbon Tinggi:</b>					
Baja Keras	0,5-0,6	34-46	58-70	160-200	Perkakas
Baja Sangat Keras	0,6-0,8	36-47	36-47	180-235	Rel, Pegas, Kawat Piano

Sumber : Wiryosumarto, 2000

##### 2.1.1 Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja karbon rendah memiliki kandungan karbon dibawah 0,3%. Baja karbon rendah sering disebut dengan baja ringan (*mild steel*) atau baja perkakas. Jenis baja yang umum dan banyak digunakan adalah baja jenis *cold rolled steel* dengan kandungan karbon sebesar 0,08% - 0,30% yang biasa digunakan untuk pelat pada bangunan lepas pantai.

##### 2.1.2 Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*)

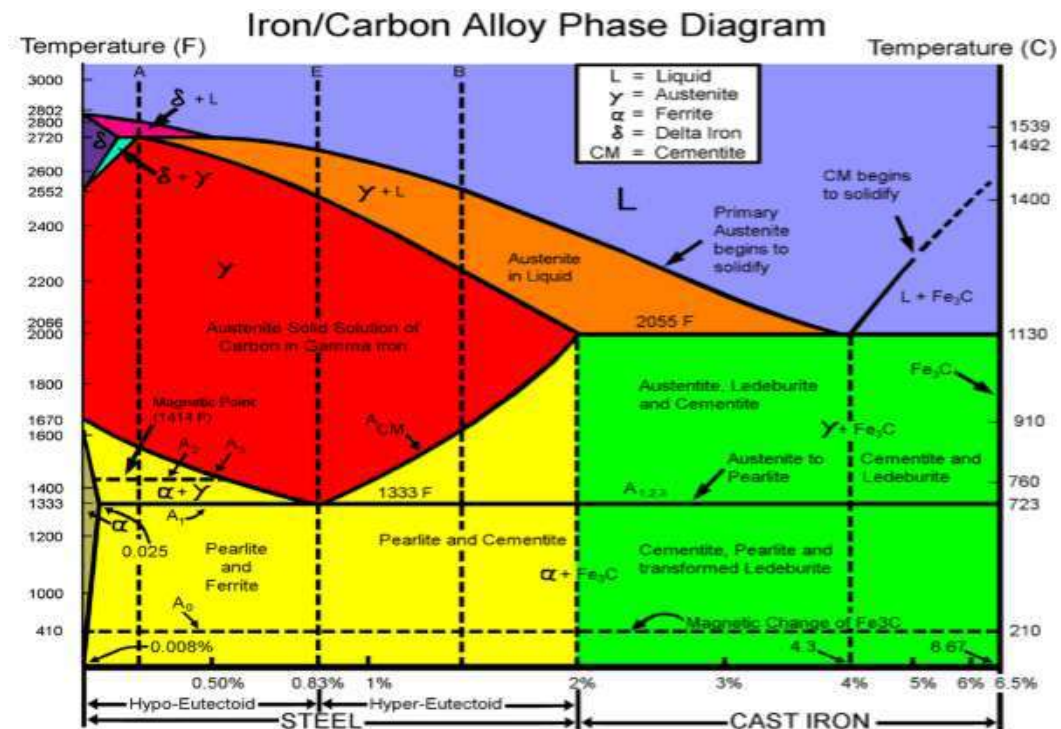
Baja karbon sedang merupakan baja yang memiliki kandungan karbon 0,3% - 0,60%. Baja karbon sedang memiliki kekuatan yang lebih dari baja karbon rendah dan mempunyai kualitas perlakuan panas yang tinggi. Baja karbon sedang dapat dilas dengan las busur listrik elektroda terlindung dan proses pengelasan yang lain. Untuk hasil yang terbaik maka dilakukan pemanasan mula sebelum proses pengelasan dilakukan.

### 2.1.3 Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon paling tinggi dibandingkan dengan baja karbon yang lain yakni 0,60% - 1,7%. Kebanyakan baja karbon tinggi sukar untuk dilas dibandingkan dengan baja karbon sedang dan rendah (Sack, 1997). Karena memiliki banyak kandungan karbon dan unsur penguat baja yang lain maka pada daerah pengaruh panas (*Heat Affected Zone*) mudah terjadi pengerasan. Sifat yang mudah mengeras ini ditambah dengan adanya difusi hidrogen menyebabkan baja ini sangat rentan terhadap retak las. Pemanasan mula sebelum pengelasan dan perlakuan panas setelah dilas baik untuk mengurangi retak las pada baja karbon tinggi (Wirjosumarto, 2000).

### 2.1.4 Siklus Thermal Baja Karbon

Siklus *thermal* akan terjadi pada saat dilakukannya proses pengelasan baja karbon. Siklus *thermal* las adalah proses pemanasan dan pendinginan yang terjadi di daerah pengelasan. Gambar 2.1 menunjukkan diagram fasa besi karbon yang menampilkan antara hubungan temperatur dengan perubahan fasa selama proses pemanasan dan pendinginan yang lambat (Wirjosumarto, 2000). Titik-titik penting yang terdapat pada diagram adalah :



Gambar 2.1 Diagram Fasa Baja Karbon

Sumber : Wirjosumarto, 2000



Berikut Penjelasan Gambar 2.1:

- A : Titik cair besi
- B : Titik pada cairan yang ada hubungannya dengan reaksi *peritektik*.
- H : Larutan pada  $\delta$  yang ada hubungannya dengan reaksi *peritektik*. Kelarutan maksimum adalah 0,10%.
- J : Titik *peritektik*. Selama pendinginan *austenit* pada komposisi J, fasa  $\gamma$  terbentuk dari larutan padat  $\delta$  pada komposisi H dan cairan pada komposisi B.
- N : Titik transformasi dari besi  $\delta$  dan ke besi  $\gamma$ , titik transformasi A<sub>4</sub> dari besi murni.
- C : Titik *eutektik*, selama pendinginan fasa  $\gamma$  dengan komposisi E dan *sementit* pada komposisi F (6,67% C) terbentuk dari cairan pada komposisi C. Fasa *eutektik* ini disebut *ledeburit*.
- E : Titik yang menyatakan fasa  $\gamma$ , ada hubungan dengan reaksi *eutektik*. Kelarutan maksimum dari karbon 2,14%. Paduan besi karbon sampai komposisi ini disebut baja.
- G : Titik transformasi besi  $\gamma$  dari dan ke besi  $\alpha$ . Titik transformasi A<sub>3</sub> untuk besi.
- P : Titik yang menyatakan ferit, fasa  $\alpha$ , ada hubungan dengan reaksi *eutectoid*. Kelarutan maksimum dari karbon kira-kira 0,02%.
- S : Titik *eutectoid*. Selama pendinginan, ferit pada komposisi P dan *sementit* pada komposisi K (sama dengan F) terbentuk simultan dari *austenit* pada komposisi S. Reaksi *eutectoid* ini dinamakan reaksi A<sub>1</sub> dan fasa *eutectoid* ini disebut perlit.
- GS : Garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dengan komposisi, dimana mulai terbentuk ferit dari *austenit*. Garis ini dinamakan garis A<sub>3</sub>.
- ES : Garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dengan komposisi, dimana mulai terbentuk *sementit* dari *austenit*. Garis ini dinamakan garis A<sub>cm</sub>.

### 2.1.5 Fasa Baja Karbon

Fasa-fasa yang terdapat pada diagram fasa besi karbon dapat dijelaskan sebagai berikut (Suratman, 1994):

#### 2.1.5.1 *Ferrite* (disimbolkan dengan $\alpha$ )

*Ferrite* adalah fasa larutan padat yang memiliki struktur BCC (*body centered cubic*). *Ferrite* ini akan terbentuk pada proses pendinginan lambat dari *austenite* baja *hipoeutectoid* (baja dengan kandungan karbon  $< 0,8\%$ ) yang bersifat lunak, ulet, memiliki kekerasan (70-100) BHN dan konduktifitas *thermalnya* tinggi.

#### 2.1.5.2 *Austenite* (disimbolkan dengan $\gamma$ )

Fase *Austenite* memiliki struktur atom FCC (*Face Centered Cubic*). Dalam keadaan setimbang fasa *austenite* ditemukan pada temperature tinggi. Fasa ini bersifat non magnetik dan ulet (*ductile*) pada temperatur tinggi. Kelarutan atom karbon di dalam larutan padat *austenite* lebih besar jika dibandingkan dengan kelarutan atom karbon pada fase *ferrite*. Secara geometri, dapat dihitung perbandingan besarnya ruang intertisi di dalam fasa *austenite* (kristal FCC) dan fasa *Ferrite* (kristal BCC).

#### 2.1.5.3 *Cementite* (disimbolkan dengan $\text{Fe}_3\text{C}$ )

Adalah senyawa besi dengan karbon yang pada umumnya dikenal sebagai karbida besi dengan rumus kimia  $\text{Fe}_3\text{C}$  dengan bentuk sel satuan *ortorombik* dan bersifat keras (65-68) HRC.

#### 2.1.5.4 *Pearlite* (disimbolkan dengan $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ )

*Pearlite* adalah campuran *ferrite* dan *cementite* berlapis dalam suatu struktur butir, dengan nilai kekerasan (10-30) HRC. Pendinginan yang lambat akan menghasilkan struktur *pearlite* yang kasar, sedangkan struktur mikro *pearlite* halus terbentuk dari hasil pendinginan cepat. Baja yang memiliki struktur mikro *pearlite* kasar kekuatannya lebih rendah bila dibandingkan dengan baja yang memiliki struktur mikro *pearlite* halus.

#### 2.1.5.5 *Martensit*

Terbentuk dari pendinginan cepat fasa *austenit* sehingga mengakibatkan sel satuan FCC bertransformasi secara cepat menjadi BCC. Unsur karbon yang larut dalam BCC terperangkap dan tetap berada dalam sel satuan itu, hal tersebut

menyebabkan terjadinya distorsi sel satuan sehingga sel satuan BCC berubah menjadi BCT. Struktur mikro *martensit* berbentuk seperti jarum-jarum halus, namun bersifat kasar (20-67) HRC dan getas.

## 2.2 Baja Karbon Sedang (ASTM A53)

Baja ASTM A53 adalah baja dengan standarisasi Amerika yaitu ASTM (*American Standard Testing and Material*) Baja karbon jenis ASTM A53 merupakan jenis klasifikasi baja karbon sedang dengan kadar karbon 0.3 % hingga 0.6 %. Spesifikasi baja karbon sedang ASTM A53 dirancang untuk pengaplikasian mekanik, tekanan dan dapat diterapkan dalam penggunaan untuk penyalur uap, air, gas dan jalur pendingin. Baja ini dapat digunakan pada pengelasan, juga dapat memenuhi untuk operasi yang membutuhkan bentuk melingkar ataupun melengkung. Berikut tabel 2.2 komposisi dari baja karbon sedang ASTM A53.

Tabel 2.2. Komposisi Baja ASTM A53

Komposisi	Type S (seamless)		Type E (electric-resistance welded)		Type F (furnace-welded pipe)
	Grade A	Grade B	Grade A	Grade B	Grade A
Carbon max. %	0.25	0.30	0.25	0.30	0.3
Manganese %	0.95	1.2	0.95	1.2	1.2
Phosphorous, max. %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Sulfur, max. %	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045
Copper, max. %	0.40	0.40	0.40	0.40	0.4
Nickel, max. %	0.40	0.40	0.40	0.40	0.4
Chromium, max. %	0.40	0.40	0.40	0.40	0.4
Molybdenum, max. %	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Vanadium, max. %	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08

Sumber : <http://www.amerpipe.com>

## 2.3 Pengertian Las

Pengelasan pada era sekarang ini sudah menjadi hal yang sangat baku pada dunia keteknikan. Banyak ahli yang mengembangkan hingga menemukan metode-metode pengelasan untuk meningkatkan kualitas hasil lasan, berikut beberapa

definisi pengelasan. Berdasarkan definisi dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN), las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Definisi ini juga dapat diartikan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa logam dengan menggunakan energi panas (Wiryosumarto, 2000). Pengelasan adalah suatu aktifitas menyambung dua bagian benda atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan atau gabungan dari keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh. Penyambungan bisa dengan atau tanpa bahan tambah (*filler metal*) yang sama atau berbeda titik cair maupun strukturnya (Alip, 1989).

Penyambungan logam dengan menggunakan teknik pengelasan dinilai paling ekonomis dibandingkan dengan teknik penyambungan logam yang lain. Pengelasan juga memberikan keuntungan pada pengerjaan suatu konstruksi baik dari aspek teknologi ataupun aspek ekonomis. Adapun keuntungan dari metode pengelasan adalah sebagai berikut (Groover, 1996) :

- Pengelasan memberikan sambungan yang permanen. Kedua bagian yang disambung menjadi satu kesatuan setelah dilas.
- Sambungan las dapat lebih kuat daripada material induknya jika logam pengisi (*filler metal*) yang digunakan memiliki sifat-sifat kekuatan yang tinggi daripada material induknya, dan teknik pengelasan yang digunakan harus tepat.
- Pengelasan biasanya merupakan cara yang paling ekonomis jika ditinjau dari harga pembuatannya dan segi penggunaannya.
- Pengelasan tidak dibatasi hanya pada lingkungan pabrik saja, tetapi pengelasan juga dapat dilakukan atau dikerjakan di lapangan.

## **2.4 Las Busur Listrik**

Las busur listrik adalah cara pengelasan dengan mempergunakan busur nyala listrik sebagai sumber panas pencair logam. Klasifikasi las busur listrik yang digunakan hingga saat ini dalam proses pengelasan adalah las elektroda terbungkus. Prinsip pengelasan las busur listrik adalah sebagai berikut, arus listrik yang cukup padat dan tegangan rendah bila dialirkan pada dua buah logam yang konduktif akan menghasilkan loncatan elektroda yang dapat menimbulkan panas yang sangat tinggi mencapai suhu  $5000^{\circ}\text{C}$  sehingga dapat mudah mencair kedua logam tersebut (Wiryosumarto, 2000).

Proses pemindahan logam cair seperti dijelaskan diatas sangat mempengaruhi sifat maupun las dari logam, dapat dikatakan bahwa butiran logam cair yang halus mempunyai sifat mampu las yang baik. Sedangkan proses pemindahan cairan sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi dari bahan fluks yang digunakan. Selama proses pengelasan, fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda sebagai zat pelindung yang sewaktu pengelasan juga ikut mencair. Tetapi karena berat jenisnya lebih ringan dari bahan logam yang dicairkan, maka cairan fluks tersebut mengapung diatas cairan logam dan membentuk terak sebagai penghalang oksidasi. Dalam beberapa fluks bahan tidak terbakar, tetapi berubah menjadi gas pelindung dari logam cair terhadap oksidasi (Wiryosumarto, 2000).

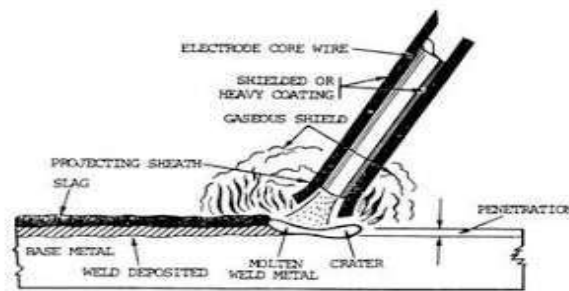
#### **2.4.1 Pengertian Las SMAW**

Proses pengelasan (*welding*) merupakan salah satu proses penyambungan material (*material joining*). Adapun untuk definisi dari proses pengelasan yang mengacu pada AWS (*American Welding Society*), proses pengelasan adalah proses penyambungan antara metal atau non-metal yang menghasilkan satu bagian yang menyatu, dengan memanaskan material yang akan disambung sampai pada suhu pengelasan tertentu, dengan atau tanpa penekanan, dan dengan atau tanpa logam pengisi. Meskipun dalam metode proses pengelasan tidak hanya berupa proses penyambungan, tetapi juga bisa berupa proses pemotongan dan brazing. Proses pengelasan dibedakan menjadi beberapa jenis, dan SMAW merupakan salah satu proses pengelasan yang umum digunakan, utamanya pada pengelasan singkat dalam produksi, pemeliharaan dan perbaikan, dan untuk bidang konstruksi.

Proses pengelasan dimana panas dihasilkan dari busur listrik antara ujung elektroda dengan logam yang dilas. Elektroda terdiri dari kawat logam sebagai penghantar arus listrik ke busur dan sekaligus sebagai bahan pengisi (*filler*). Kawat ini dibungkus dengan bahan *fluks*. Biasanya dipakai arus listrik yang tinggi (10-500 A) dan potensial yang rendah (10-50 V). Selama pengelasan, *fluks* mencair dan membentuk kerak (*slag*) yang berfungsi sebagai lapisan pelindung logam las terhadap udara sekitarnya. *Fluks* juga menghasilkan gas yang bisa

melindungi butiran-butiran logam cair yang berasal dari ujung elektroda yang mencair dan jatuh ke tempat sambungan (Wiryosumarto, 2000).

Sebagaimana dalam AWS (*American Welding Society*), prinsip dari SMAW adalah menggunakan panas dari busur untuk mencairkan logam dasar dan ujung sebuah elektroda tertutup dengan tegangan listrik yang dipakai 23-45 Volt, dan untuk pencairan digunakan arus listrik hingga 500 amper yang umum digunakan berkisar antara 80–200 ampere. Dimana dalam proses SMAW dapat terjadi oksidasi, hal ini perlu dicegah karena oksidasi metal merupakan senyawa yang tidak mempunyai kekuatan mekanik. Adapun untuk mencegah hal tersebut maka bahan penambah las dilindungi dengan pelapis zat pelindung yang disebut *fluks* atau *slag* yang ikut mencair ketika pengelasan. Tetapi karena berat jenisnya lebih ringan dari bahan metal yang dicairkan, cairan *fluks* akan mengapung diatas cairan metal, sekaligus mengisolasi metal tersebut sehingga tidak beroksidasi dengan udara luar. Sewaktu membeku, *fluks* akan ikut membeku dan tetap melindungi metal dari reaksi oksidasi. Pada pengelasan dengan metode SMAW, pengelasan dimulai saat sebuah busur listrik dipukul dengan membuat kontak antara ujung elektroda dan sistem kerja. Panas konstan busur mencairkan ujung elektroda dan permukaan kerja dekat dengan busur. Gelembung-gelembung kecil logam cair dengan cepat terbentuk di ujung elektroda, kemudian ditransfer melalui sungai busur ke dalam kolam las cair. Dengan cara ini, logam pengisi disimpan sebagai elektroda yang dikonsumsi. Busur digerakan sesuai dengan panjang system kerja dan kecepatan perjalanan, titik lebur dan sekering sebagian logam dasar dan terus menambahkan logam pengisi. Saat busur menjadi sumber panas dengan suhu di atas 9000°F (5000°C), pencairan logam dasar terjadi hampir seketika. Jika pengelasan dilakukan baik dalam posisi datar atau horizontal, transfer logam disebabkan oleh gaya gravitasi, ekspansi gas, listrik dan kekuatan elektromagnetik, dan tegangan permukaan. Sedangkan pada posisi las yang lain, gravitasi bekerja terhadap kekuatan lain.



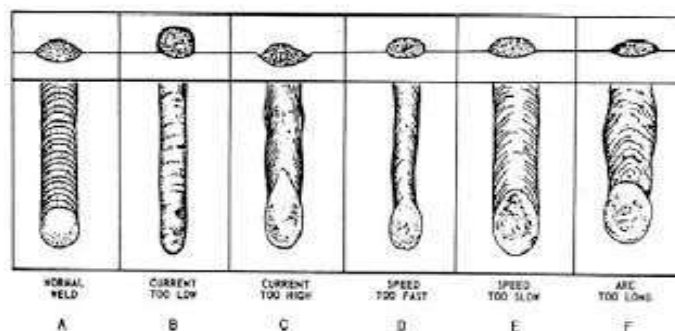
Gambar 2.2. Ilustrasi Pengelasan SMAW

Sumber : <http://www.pengelasan.com>

Proses pengelasan dengan metode SMAW dibedakan berdasarkan jenis arusnya meliputi arus AC dan DC.

- Untuk arus AC (*Alternating Current*), pada *voltage drop* panjang kabel tidak banyak pengaruhnya, kurang cocok untuk arus yang lemah, tidak semua jenis elektroda dapat dipakai, *arc starting* lebih sulit terutama untuk diameter elektroda kecil.
- Sedangkan pada arus DC (*Direct Current*), *voltage drop* sensitif terhadap panjang kabel sependek mungkin, dapat dipakai untuk arus kecil dengan diameter elektroda kecil, semua jenis elektroda dapat dipakai, *arc starting* lebih mudah terutama untuk arus kecil.

Hal – hal yang mempengaruhi hasil pengelasan adalah, sudut elektroda, panjang busur, kecepatan memindahkan busur, tinggi rendah arus yang digunakan. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.3 dimana perbedaan hasil pada pengelasan normal (A), pada arus yang terlalu rendah (B), terlalu tinggi (C), kecepatan memindahkan busur yang terlalu cepat (D), terlalu lambat (E), dan dengan arc yang terlalu panjang (F):



Gambar 2.3. Sketsa hasil las SMAW

Sumber : <http://akmalchaka.blogspot.co.id>

## **2.4.2 Kelebihan dan Kekurangan Las SMAW**

### **2.4.2.1 Kelebihan**

- Biaya awal yang relatif ekonomis sehingga tidak memerlukan investasi tinggi.
- Secara operasional dalam pengerjaan, metode las SMAW dapat dikatakan handal dan sederhana.
- Biaya material pengisi (elektroda) yang relatif rendah.
- Dalam metode las SMAW, semua material dapat dilas menggunakan peralatan yang sama atau tidak ada peralatan khusus pada material tertentu.
- Dalam pengerjaannya, metode las SMAW tidak harus berada pada tempat fabrikasi. Sehingga las SMAW dapat dilakukan juga di lapangan.
- Las SMAW memiliki fleksibilitas pada posisi pengelasan yang akan dilakukan, maka dapat dikerjakan dengan semua posisi pengelasan.

### **2.4.2.2 Kelemahan**

- Pada pengelasan manual kecepatan pengelasan tidak bisa konstan secara mendetail.
- Pada pengelasan manual jarak antara elektroda dan obyek yang dilas dalam prosesnya tidak bisa selalu sama.
- Pada las SMAW harus dilakukan penggantian stik elektroda secara berkala.
- Terdapat slag yang harus dibersihkan setelah proses pengelasan satu layer selesai.

## **2.4.3 Peralatan Las SMAW**

Perlengkapan yang diperlukan untuk proses pengelasan SMAW adalah peralatan yang paling sederhana dibandingkan dengan proses pengelasan listrik yang lainnya. Adapun perlengkapan las SMAW adalah : transformator DC/AC, elektroda, kabel massa, kabel elektroda, connectors, palu *cipping*, sikat kawat dan alat perlindungan diri yang sesuai.

### **2.4.3.1 Sumber Tegangan**

Sumber tegangan diklasifikasikan menjadi dua, yaitu sebagai mesin las AC dan mesin las DC. Mesin las AC pada umumnya berupa trafo las, sedangkan mesin las DC selain trafo juga ada yang dilengkapi dengan *rectifier* atau *diode* (perubah arus bolak balik menjadi arus searah) biasanya menggunakan motor penggerak seperti mesin diesel, motor bensin dan motor listrik. Gambar 2.4 adalah



contoh mesin las DC, saat ini banyak digunakan mesin las DC karena mesin las DC mempunyai beberapa kelebihan dari pada mesin las AC yaitu busur stabil dan polaritas dapat diatur.



Gambar 2.4.Mesin Las SMAW

Sumber <http://www.mesinunila.org>

#### 2.4.3.2 Kabel Masa dan Kabel Elektroda

Kabel masa dan kabel elektroda berfungsi menyalurkan aliran listrik dari mesin las ke material las dan kembali lagi ke mesin las. Ukuran kabel masa dan kabel elektroda ini harus cukup besar untuk mengalirkan arus listrik, apabila kabel kurang besar akan menimbulkan panas pada kabel dan merusak isolasi kabel yang akhirnya membahayakan pengelasan. Sesuai dengan peraturan, kabel di antara mesin dan tempat kerja sebaiknya sependek mungkin. Menggunakan satu kabel (tanpa sambungan) jika jaraknya kurang dari 35 kaki. Jika memakai lebih dari satu kabel, sambungannya harus baik dengan menggunakan *lock-type cable connectors*. Sambungan kabel minimal 10 kaki menjauhi operator.



Gambar 2.5. Kabel Las Listrik SMAW

<https://www.indotrading.com>

#### 2.4.3.3 Pemegang Elektroda dan Klem Masa

Pemegang elektroda berguna untuk mengalirkan arus listrik dari kabel elektrode ke elektroda serta sebagai pegangan elektroda sehingga tukang las tidak merasa panas pada saat mengelas. Klem masa berguna untuk menghubungkan kabel masa dari mesin las dengan material biasanya klem masa mempunyai per untuk penjepitnya. Klem ini sangat penting karena apabila klem longgar arus yang dihasilkan tidak stabil sehingga pengelasan tidak dapat berjalan dengan baik.



Gambar 2.6 Penjepit Elektroda dan Klem Masa

Sumber : <http://www.mesinlas.net>

#### 2.4.3.4 Palu las dan sikat kawat

Palu las digunakan untuk melepaskan dan mengeluarkan terak las pada logam las (*weld metal*) dengan jalan memukulkan atau menggoreskan pada daerah lasan. Berhati-hatilah membersihkan terak las dengan palu las karena kemungkinan akan memercik ke mata atau ke bagian badan lainnya. Jangan membersihkan terak las sewaktu terak las masih panas atau memerah. Sikat kawat dipergunakan untuk membersihkan benda kerja yang akan dilas dan membersihkan terak las yang sudah lepas dari jalur las oleh pukulan palu las.



Gambar 2.7. Palu dan Sikat Kawat

Sumber : <http://mechanicalprovider.blogspot.co.id>

## 2.5 Posisi Pengelasan

Posisi pengelasan yaitu pengaturan posisi atau letak gerakan elektroda pada saat proses pengelasan. Posisi pengealasan yang digunakan biasanya tergantung dari letak kampuh atau celah benda kerja yang akan dilas. Posisi pengelasan dibagi menjadi empat yaitu, pengelasan dengan posisi benda kerja di bawah tangan (*down hand position*), posisi pengelasan dengan benda kerja mendatar (*horizontal position*), posisi pengelasan padan benda kerja yang tegak (*vertical position*), dan posisi pengelasan dengan letak benda kerja di atas kepala (*over head position*).berikut penjelasan mengenai empat posisi pengelasan tersebut,

### 2.5.1 Posisi Pengelasan di Bawah Tangan (*down hand position*)

Posisi pengelasan ini merupakan posisi yang paling mudah dilakukan. Posisi ini dilakukan untuk proses pengelasan pada permukaan datar atau permukaan sedikit miring, yaitu letak elektroda berada di atas benda kerja yang dilas.

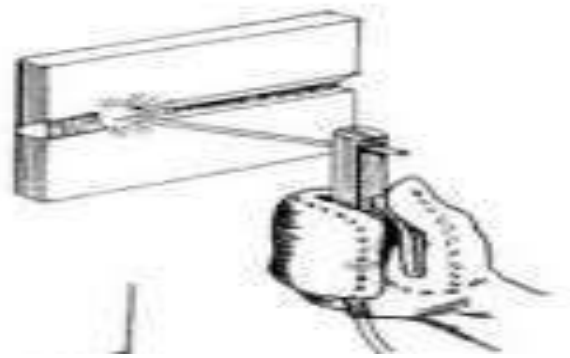


Gambar 2.8 Posisi Pengelasan di Bawah Tangan

Sumber : teknikmesin.org

### 2.5.2 Posisi Pengelasan Mendatar (*horizontal position*)

Pengelasan dengan posisi mendatar merupakan pengelasan yang arahnya mengikuti arah garis mendatar atau *horizontal*. Pada posisi proses pengelasan ini kemiringan dan arah ayunan elektroda harus diperhatikan, karena akan sangat mempengaruhi hasil pengelasan. Posisi benda kerja pada proses pengelasan ini biasanya berdiri tegak atau miring sedikit dari arah elektroda las. Pengelasan posisi mendatar sering digunakan untuk pengelasan benda-benda yang berdiri tegak. Misalnya pengelasan pada badan kapal laut arah *horizontal*.

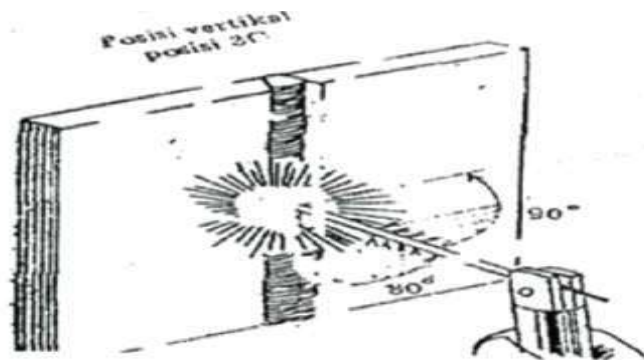


Gambar 2.9 Posisi Pengelasan Mendatar

Sumber : teknikmesin.org

### 2.5.3 Posisi Pengelasan Tegak (*vertical position*)

Pengelasan dengan posisi tegak merupakan pengelasan yang arahnya mengikuti arah garis tegak atau vertikal. Seperti pada *horizontal position*, pada *vertical position*, posisi benda kerja biasanya berdiri tegak atau agak miring sedikit searah dengan gerak elektroda las yaitu naik atau turun. Misalnya pengelasan badan kapal laut arah vertikal.

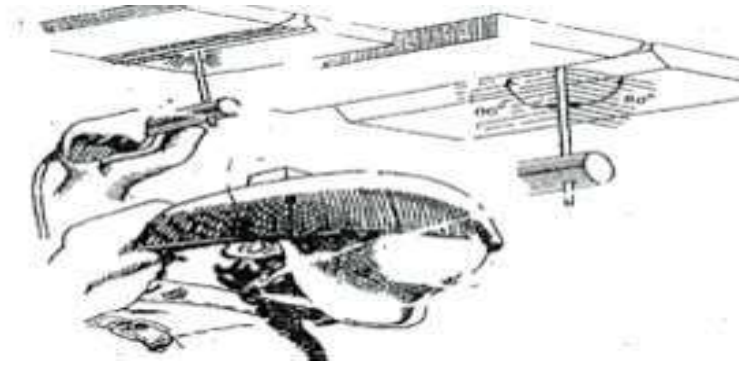


Gambar 2.10 Posisi Pengelasan Tegak

Sumber : hima-tl.ppns.ac.id

### 2.5.4 Posisi Pengelasan di Atas Kepala (*over head position*)

Proses Pengelasan ini posisi benda kerja terletak di atas kepala *welder*, sehingga pengelasan dilakukan di atas kepala operator atau *welder*. Posisi pengelasan ini dilakukan pada saat ruang gerak sangat terbatas dan biasanya dapat dijumpai dalam proses reparasi. Posisi ini paling sulit dibandingkan dengan posisi-posisi pengelasan yang lain. Posisi pengelasan ini dilakukan untuk pengelasan pada permukaan datar atau agak miring tetapi posisinya berada di atas kepala, yaitu letak elektroda berada di bawah benda kerja. Misalnya pengelasan pada bagian dasar kapal (*keel*) pada saat reparasi.



Gambar 2.11 Posisi Pengelasan di Atas Kepala

Sumber : hima-tl.ppns.ac.id

## 2.6 Pemanasan Mula (*Preheating*)

Pemanasan mula adalah memanaskan sebagian atau seluruh logam yang akan dilas untuk mengurangi perbedaan suhu (*gradient temperature*) yang terjadi antara daerah pengelasan dan daerah lain benda kerja (Alip, 1989). Pemanasan mula dapat dilakukan dengan nyala api oxy-gas, dapur tempa, dan oven. Temperatur pemanasan awal ditentukan dengan kadar karbon logam induk dan telah dikembangkan alat untuk menghitung temperatur pemanasan mula oleh *Lincoln Elektrik*. Temperatur suhu pemanasan mula baja karbon dapat dilihat pada Tabel 2.3. Pemanasan mula dilakukan sampai baja memerah dan tidak mencapai titik kritis serta harus *uniform* diikuti dengan pendinginan yang merata pula, bila pemanasan mula melebihi titik kritis maka akan terjadi perubahan karakteristik bahan.

Tabel 2.3 Suhu Pemanasan Baja Karbon

Kadar Karbon (%)	Suhu pemanasan mula (°C)
0.20 (maks)	90 (maks)
0.20-0.30	90-150
0.30-0.45	150-260
0.45-0.85	260-420

Sumber : Wiryosumarto (2000)

Tabel 2.4. Suhu *Preheating* berdasarkan AWS D1.1

C a t e g o r y	Steel Specification		Welding Process	Thickness of Thickest Part at Point of Welding		Minimum Preheat and Interpass Temperature	
				in.	mm	°F	°C
A	ASTM A 36	ASTM A 516	Shielded metal arc welding with other than low-hydrogen electrodes	1/8 to 3/4 incl.	3 to 20 incl.	32	0
	ASTM A 53 Grade B	ASTM A 524 Grades I & II		Over 3/4 thru 1-1/2 incl.	Over 20 thru 38 incl.	150	65
	ASTM A 106 Grade B	ASTM A 529 Grade 65		Over 1-1/2 thru 2-1/2 incl.	Over 38 thru 65 incl.	225	110
	ASTM A 131 Grades A, B, CS, D, DS, E	ASTM A 570 All grades		Over 2-1/2	Over 65	300	150
	ASTM A 139 Grade B	ASTM A 573 Grade 36					
	ASTM A 381 Grade Y35	API 5L					
	ASTM A 500 Grade A	Grade X42					
	ASTM A 500 Grade B	Grades A, B, D, CS, DS					
	ASTM A 501	Grade E					
	ASTM A 36	ASTM A 570					
B	ASTM A 53 Grade B	ASTM A 572 Grades 42, 50	Shielded metal arc welding with low-hydrogen electrodes, submerged arc welding, <sup>2</sup> gas metal arc welding, flux cored arc welding	1/8 to 3/4 incl.	3 to 20 incl.	32	0
	ASTM A 106 Grade B	ASTM A 573 Grade 65		Over 3/4 thru 1-1/2 incl.	Over 20 thru 38 incl.	50	10
	ASTM A 131 Grades A, B, CS, D, DS, E	ASTM A 588 Grades A, B, C		Over 1-1/2 thru 2-1/2 incl.	65 incl.	150	65
	ASTM A 139 Grade B	ASTM A 595 Grades 45, 50, 55		Over 2-1/2	Over 65	225	110
	ASTM A 381 Grade Y35	ASTM A 606 Grades A, B					
		ASTM A 607 Grades 45, 50, 55					
		ASTM A 618 Grades B, II, III					
		ASTM A 633 Grades C, D					
		ASTM A 709 Grades 36, 50, 50W					
		ASTM A 710 Grade A, Class 2 (>2 in. [50 mm])					
C	ASTM A 441	ASTM A 913 <sup>1</sup> Grade 50	SMAW, SAW, GMAW, and FCAW with electrodes or electrode-flux combinations capable of depositing weld metal with a maximum diffusible hydrogen content of 8 ml/100 g (HS), when tested according to ANS/AWS A4.3.	1/8 to 3/4 incl.	3 to 20 incl.	50	10
	ASTM A 500 Grade A	API Spec. 2H Grades 42, 50		Over 3/4 thru 1-1/2 incl.	Over 20 thru 38 incl.	150	65
	ASTM A 500 Grade B	API 2W Grades 42, 50, 50T		Over 1-1/2 thru 2-1/2 incl.	65 incl.	225	110
	ASTM A 501	API 2Y Grades 42, 50, 50T		Over 2-1/2	Over 65	300	150
	ASTM A 516 Grades 55 & 60	ABS Grades AH 32 & 36					
	ASTM A 516 Grades 65 & 70	DH 32 & 36					
	ASTM A 524 Grades I & II	EH 32 & 36					
	ASTM A 529	Grades A, B, D, CS, DS					
	ASTM A 537 Class 1 & 2	Grade E					

(continued)

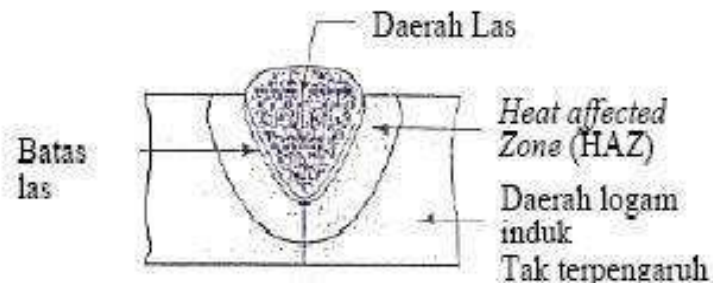
C a t e g o r y	Steel Specification		Welding Process	Thickness of Thickest Part at Point of Welding		Minimum Preheat and Interpass Temperature	
				in.	mm	°F	°C
C	ASTM A 572 Grades 60, 65	Shielded metal arc welding with low-hydrogen electrodes, submerged arc welding, <sup>2</sup> gas metal arc welding, flux cored arc welding		1/8 to 3/4 incl.	3 to 20 incl.	50	10
	ASTM A 633 Grade E			Over 3/4 thru 1-1/2 incl.	Over 20 thru 38 incl.	150	65
	API 5L Grade X52			Over 1-1/2 thru 2-1/2 incl.	Over 38 thru 65 incl.	225	110
	ASTM A 913 <sup>1</sup> Grades 60, 65			Over 2-1/2	Over 65	300	150
	ASTM A 710 Grade A, Class 2 (>2 in. [50 mm])						
D	ASTM A 710 Grade A, Class 3 (>2 in. [50 mm])	SMAW, SAW, GMAW, and FCAW with electrodes or electrode-flux combinations capable of depositing weld metal with a maximum diffusible hydrogen content of 8 ml/100 g (HS), when tested according to ANS/AWS A4.3.		1/8 to 3/4 incl.	3 to 20 incl.	32	0
	ASTM A 709 <sup>2</sup> Grade 70W			Over 3/4 thru 1-1/2 incl.	Over 20 thru 38 incl.	150	65
	ASTM A 853 <sup>3</sup> Grade 60			Over 1-1/2 thru 2-1/2 incl.	Over 38 thru 65 incl.	225	110
	API 2W Grade 60			Over 2-1/2	Over 65	300	150
	API 2Y Grade 60						

Sumber : AWS D1.1 (2000)

## 2.7 Metalurgi Las

Metalurgi dalam pengelasan, dalam arti yang sempit dapat dibatasi hanya pada logam las dan daerah yang dipengaruhi panas atau *Heat Affected Zone*. Karena dengan mengetahui metalurgi las, memungkinkan meramalkan sifat-sifat dari logam las. Aspek-aspek yang timbul selama dan sesudah pengelasan harus benar-benar diperhitungkan sebelumnya, karena perencanaan yang kurang tepat dapat mengakibatkan kualitas hasil las yang kurang baik. Dengan demikian pengetahuan metalurgi las dan ditambah dengan keahlian dalam operasi

pengelasan dapat ditentukan prosedur pengelasan yang baik untuk menjamin hasil las-lasan yang baik. Pada proses pengelasan terdapat tiga daerah yaitu daerah las, daerah terpengaruh panas las daerah logam induk tidak terpengaruh panas.



Gambar 2.12 Daerah Las

Sumber : Wiryosumarto, 2000

Berikut penjelasan dari gambar daerah las diatas :

- Logam induk (*base metal*), merupakan bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat.
- Daerah las / logam las, merupakan bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan membeku.
- Daerah pengaruh panas atau heat effected zone (HAZ), merupakan logam dasar yang bersebelahan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat (Wiryosumarto, 2000).

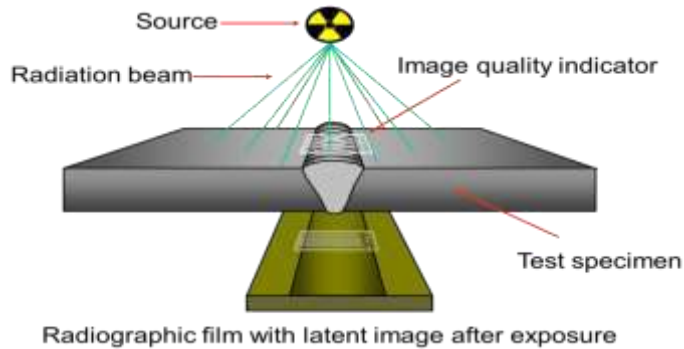
Selain ketiga daerah tersebut, masih ada satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dengan daerah pengaruh panas yang disebut batas las atau daerah fusi (*fusion line*).

## 2.8 Pengujian Hasil Las

Pengujian untuk mengetahui kekuatan dan cacat yang terjadi pada sambungan hasil pengelasan dapat dilakukan dengan pengujian merusak dan pengujian tidak merusak. Pengujian tidak merusak menggunakan metode radiografi .Pengujian merusak dapat dilakukan dengan uji mekanik untuk mengetahui kekuatan sambungan logam hasil pengelasan. Pengujian merusak pada daerah lasan dapat diklasifikasikan dalam beberapa jenis, antara lain, uji kekerasan, uji tarik, dan uji kelelahan. Jenis pengujian pada penelitian ini

menggunakan metode radiografi dan uji mekanik yaitu uji kekerasan *vickers* dan uji metalografi, ditambah lagi uji korosi untuk mengetahui ketahanan sambungan las di lingkungan laut.

### 2.8.1 Uji Tidak Merusak Radiografi



Gambar 2.13 Ilustrasi NDT Radiografi

Sumber : [www.insinyoer.com](http://www.insinyoer.com)

Metode NDT ini dapat untuk menemukan cacat pada material dengan menggunakan sinar X dan sinar gamma. Prinsipnya, sinar X dipancarkan menembus material yang diperiksa. Saat menembus objek, sebagian sinar akan diserap sehingga intensitasnya berkurang. Intensitas akhir kemudian direkam pada film yang sensitif. Jika ada cacat pada material maka intensitas yang terekam pada film tentu akan bervariasi. Hasil rekaman pada film ini lah yang akan memperlihatkan bagian material yang mengalami cacat. Pengujian dengan metode ini merujuk pada standar ASME IX.

Kelebihan radiografi:

- Persiapan pengujian yang relatif mudah
- Dapat mendeteksi cacat pada permukaan dan dibawah permukaan
- Dapat diaplikasikan untuk segala jenis material
- Dapat diaplikasikan untuk bentuk yang rumit dan struktur yang berlapis tanpa harus membongkar struktur tersebut

Kekurangan radiografi:

- Tidak mudah untuk dioperasikan, butuh keahlian khusus
- Peralatan yang relatif mahal
- Waktu operasi yang lama untuk material yang tebal
- Butuh kedua sisi yang berlawanan dari material



- Sangat dipengaruhi oleh arah radiasi yang dipancarkan dan yang diterima
- Terdapat resiko efek radiasi pada pengguna

### **2.8.2 Uji Korosi Dengan Salinitas 3.5%**

Korosi adalah penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya yang biasanya berjalan lambat. Peristiwa korosi sendiri merupakan proses elektrokimia, yaitu proses perubahan atau reaksi kimia yang melibatkan adanya aliran listrik dan interaksi ion-ion dan juga antar elektron. Dimana termasuk kedalam sel *volta* atau sel *galvani* yang merupakan reaksi spontan. Korosi atau pengkaratan merupakan fenomena kimia pada bahan-bahan logam yang pada dasarnya merupakan reaksi logam menjadi ion pada permukaan logam yang kontak langsung dengan lingkungan berair dan oksigen (Kennet dan Chamberlain, 1991).

Korosi adalah kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi *redoks* antara suatu logam dengan berbagai zat di lingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki. Dalam bahasa sehari-hari, korosi disebut perkaratan. Korosi atau perkaratan sangat lazim terjadi pada besi (Usemansano, 2010). Korosi disebabkan oleh kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi redoks antara suatu logam dengan berbagai zat di lingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki.

#### **2.8.2.1 Laju Korosi**

Laju korosi adalah kecepatan rambat atau kecepatan penurunan kualitas suatu material terhadap waktu. Untuk mengetahui kecepatan rambat korosi pada suatu material maka harus dilakukan perhitungan. Laju korosi pada hakikatnya berfungsi sebagai acuan untuk menentukan ketahanan suatu material terhadap korosi. Dari ketahanan yang didapat tersebut maka didapatkan kualitas dari suatu material yang diteliti.

Salah satu cara menghitung laju korosi adalah dengan menggunakan metode elektrokimia. Prinsip metode elektrokimia adalah metode menentukan laju korosi dengan mengukur beda potensial objek hingga didapat laju korosi yang terjadi. Metode ini menentukan laju korosi pada saat diukur saja dimana memperkirakan laju tersebut dengan waktu yang panjang. Kelemahan metode ini adalah tidak dapat menggambarkan secara pasti laju korosi yang terjadi secara akurat karena

hanya dapat mengukur laju korosi hanya pada waktu tertentu saja dan bersifat estimasi, hingga secara umur pemakaian maupun kondisi hanya dapat diketahui secara estimasi hasil dari perhitungan. Kelebihan metode ini adalah kita langsung dapat mengetahui laju korosi pada saat di ukur, sehingga tidak membutuhkan waktu pengukuran yang lama. Berikut rumus laju korosi metode elektro kimia yang menggunakan dasar hukum faraday.

$$\text{Corrothion penetrate rate} = k \frac{ai}{nD} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan :

a = atomic weight

i = current density ( $\frac{\mu a}{cm^3}$ )

n = jumlah electron yang hilang

D = density of specimen ( $in^2$ )

Standar ketahanan material terhadap korosi dapat dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 2.5 Ketahanan Material Terhadap Korosi

Relative Corrosion Resistance	Approximate Metric Equivalent				
	Mpy	mm/y	$\mu m/y$	nm/y	pm/s
Outstanding	<1	<0.02	<25	<2	<1
Excellent	1-5	0.02-0.1	25-100	2-10	1-5
Good	5-20	0.1-0.5	100-500	10-50	5-20
Fair	20-50	0.5-1.0	500-1000	50-100	20-50
Poor	50-200	1.0-5.0	1000-5000	100-500	50-200
Unacceptable	>200	>5.0	>5000	>500	>200

Sumber : Fontana (1987)

### 2.8.2.2 Sel Tiga Elektroda

Uji laju korosi pada tugas akhir ini menggunakan alat uji korosi potensiostat Autolab dengan bantuan tiga elektroda yang dialiri arus listrik. Tegangan yang diberikan nantinya akan direkam oleh software NOVA pada perangkat komputer. Pengujian dengan metode ini merujuk pada standar ASTM G102. Berikut adalah komponen utama dari sel tiga elektroda :



Gambar 2.14 Alat Uji Sel Tiga Elektroda

- Larutan Elektrolit

Larutan elektrolit berfungsi sebagai pengangkut arus ionik, maka dari itu harus diperhatikan dalam pemilihan ataupun dalam peracikan. Larutan elektrolit dalam penelitian tugas akhir ini menggunakan simulasi air laut salinitas 3.5 %.

- Elektroda Acuan

Elektroda acuan adalah elektroda yang berfungsi sebagai acuan untuk pengukuran potensial elektroda kerja pada saat pengujian berlangsung. Arus listrik yang mengalir pada elektroda acuan dibuat sedemikian rupa menjadi seminimal mungkin sehingga arus tersebut dapat diabaikan.

- Elektroda Kerja

Elektroda kerja adalah elektroda adalah speaimen yang diteliti laju korosinya. Spesimen yang diteliti ini berperan sebagai elektroda kerja ini harus bersifat bisa menghantarkan arus listrik. Sebelum dilakukan pemasangan terlebih dahulu dipastikan bahwa elektroda kerja sudah digerinda dan diampas sehingga permukannya rata dan halus untuk memunahkan dalam proses pengujian.

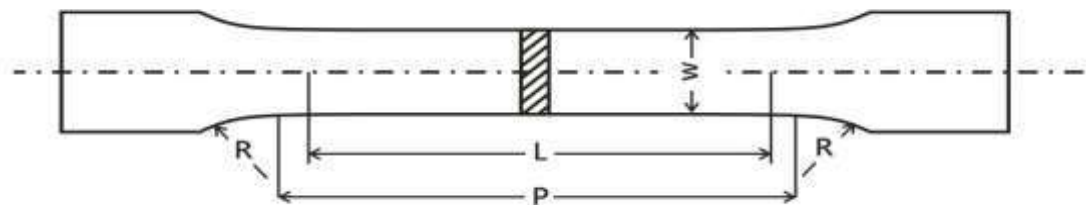
- Elektroda Pembantu

Elektroda pembantu adalah elektroda kedua yang berfungsi sebagai pengangkut arus dalam rangkaian alat sel tiga elektroda. Bahan yang lazim

digunakan pada elektroda pembantu adalah sebatang karbon, selain batang karbon bisa digunakan emas dan platina .

### 2.8.3 Uji Kekuatan Tarik

Pengujian tarik terhadap specimen hasil pengelasan dilakukan untuk mengetahui kekuatan sambungan logam yang telah dilas, karena mudah dilakukan, dan menghasilkan tegangan seragam pada penampang serta kebanyakan sambungan logam yang telah dilas mempunyai kelemahan untuk menerima tegangan tarik sehingga perlu dilakukan untuk memastikan bahwa hasil lasan benar-benar layak untuk diaplikasikan. Pada kekuatan tarik hasil sambungan las sangat dipengaruhi oleh sifat logam induk (*base metal*), sifat daerah las (*HAZ*), sifat logam las (*weld metal*), dan geometri serta distribusi tegangan dan regangan dalam sambungan. Uji tarik yang dilakukan pada suatu material logam akan menghasilkan grafik tegangan-regangan yang dapat memberikan data untuk dianalisis, diantaranya berupa kekuatan luluh dan kekuatan tarik yang merupakan parameter keuletan dari specimen yang diuji tarik. Pengujian tarik pada tugas akhir ini merujuk pada standard ASME IX. Contoh specimen uji tarik seperti pada gambar 2.15.

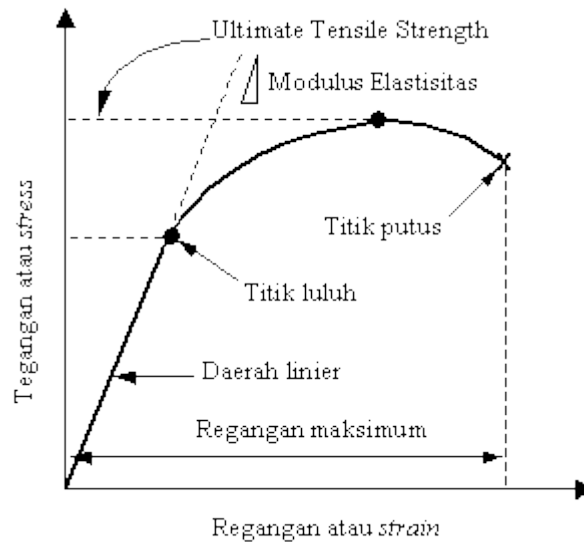


Gambar 2.15 Contoh Spesimen Uji Tarik

Sumber : ASME IX

Keterangan gambar 2.14 :

- L : *Gauge Length*
- P : *Length Reduce Section*
- R : *Radius of Fillet*
- W : *Reduce Width*



Gambar 2.16 Kurva Tegangan dan Regangan

Sumber : [www.infometrik.com](http://www.infometrik.com)

Dari gambar 2.16 yang didapatkan dari pengujian kekuatan tarik kita dapat mengetahui titik awal hingga titik luluhnya yang merupakan daerah elastis dimana material uji dapat kembali kembali ke bentuk awalnya apabila beban tarik yang bekerja pada material dihilangkan. Pada daerah ini berlaku hukum Hooke, dimana kekuatan material ditentukan oleh kekuatan ikatan antar atomnya. Modulus elastisitas material dapat dicari modulus elastisitas material melalui tangen sudutnya. Selanjutnya adalah daerah dari batas luluhnya hingga tegangan maksimumnya. Pada daerah ini material mengalami deformasi plastis homogen (*universal deformation*) dan peristiwa strain hardening. Terakhir adalah daerah dari titik ultimate tensile strength hingga titik patahnya. Pada daerah ini terjadi deformasi lokal (*localized deformation*) yang menyebabkan pengecilan setempat (*necking*) pada spesimen. Untuk mengetahui nilai dari sifat mekanik khususnya kekuatan tarik dapat dicari menggunakan persamaan,

$\sigma_y$  (Yield Strength)

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0} \text{ N/mm} \dots \dots \dots (2.2)$$

$\sigma_{ult}$  (Ultimate Strength)

$$\sigma_y = \frac{F_{ult}}{A_0} \text{ N/mm} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan,

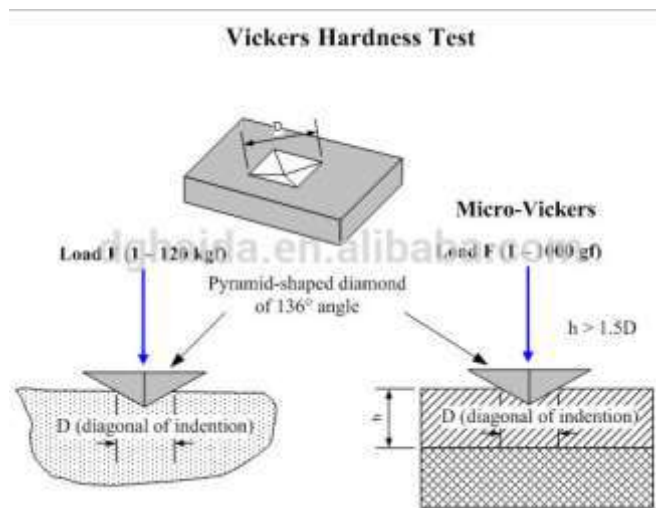
-Fy: Kekuatan Maksimum

-Fult: Luluh Maksimum

-A0: Luas Area Tarik

#### 2.8.4 Uji Kekerasan *Vickers*

Uji kekerasan ini menggunakan indenter berbahan batu intan dengan bentuk piramida bujur sangkar. Besar sudut kemiringannya  $136^\circ$ , besar sudut ini digunakan karena merupakan estimasi rasio terideal indentasi diameter bola pada uji brinel. Besar beban indenter bervariasi antara 1 kg hingga 120 kg. penggunaan beban tergantung kebutuhan dan disesuaikan dengan tingkat kekerasan material 30ristal30. Dibawah ini contoh ilustrasi gambar pengujian Vickers.



Gambar 2.17 Ilustrasi *Vickers Hardness Test*

Sumber : [www.alibaba.com](http://www.alibaba.com)

Prinsip dari uji kekerasan Vickers adalah beban dibagi dengan luas daerah indentasi, dapat dicari menggunakan persamaan :

$$VHN = \frac{2P \sin(\frac{\theta}{2})}{l^2} \dots \dots \dots 2.4$$

Dengan,

P = Beban yang digunakan (kg)

l = Panjang diagonal rata-rata (mm)

$\theta$  = Sudut antara permukaan intan yang berhadapan ( $136^\circ$ )

### **2.8.5 Uji Metalografi**

Metalografi merupakan suatu pengetahuan yang khusus mempelajari struktur logam dan mekanisnya. Dalam metalografi dikenal pengujian makro (*makroscope test*) dan pengujian mikro (*31ristal3131e test*). Pengujian makro (*makroscope test*) ialah proses pengujian bahan yang menggunakan mata terbuka dengan tujuan dapat memeriksa celah dan lubang dalam permukaan bahan. Angka kevalidan pengujian makro berkisar antara 0,5 sampai 50 kali. Pengujian cara demikian biasanya digunakan untuk bahan-bahan yang memiliki struktur 31ristal yang tergolong besar atau kasar. Misalnya, logam hasil coran (tuangan) dan bahan yang termasuk non-metal (bukan logam). Pengujian mikro (*31ristal3131e test*) ialah proses pengujian terhadap bahan logam yang bentuk 31ristal logamnya tergolong sangat halus. Mengingat demikian halusanya, sehingga pengujiannya menggunakan suatu alat yaitu mikroskop 31rist.

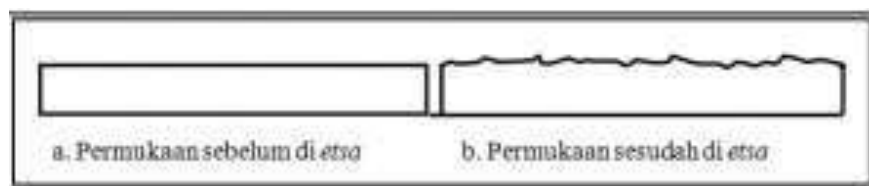
#### **2.8.5.1 Uji Makro**

Pengujian makro (*makroscope test*) ialah proses pengujian bahan material yang menggunakan mata terbuka, kaca pembesar ataupun kamera dengan tujuan dapat memeriksa celah dan lubang yang terdapat pada permukaan specimen uji. Angka kevalidan perbesaran pengujian makro adalah berkisar antara 0,5 sampai 50 kali. Pengujian makro pada umumnya digunakan untuk bahan-bahan yang memiliki struktur yang tergolong besar atau kasar dan terlihat secara kasat mata. Misalnya, hasil permukaan lasan, permukaan logam hasil coran (tuangan) dan bahan yang termasuk non-metal (bukan logam).

#### **2.8.5.2 Uji Mikro**

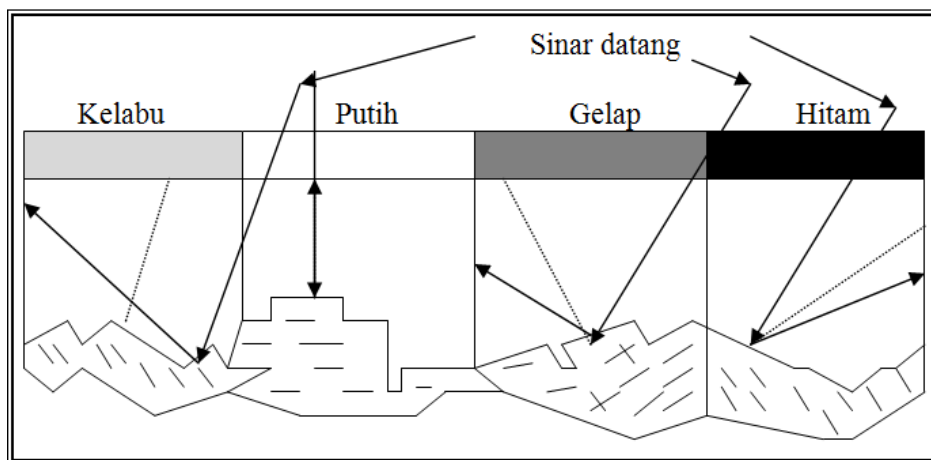
Pengujian mikro adalah suatu pengujia pengamatan mengenai struktur material melalui perbesaran dengan menggunakan mikroskop khusus untuk melakukan pengamatan metalografi. Dengan pengujian mikro struktur, kita dapat mengamati bentuk dan ukuran logam, kerusakan logam akibat proses deformasi, proses hasil perlakuan panas terhadap logam, dan perbedaan komposisi antar material. Untuk melakukan pengujian mikro tahapan yang harus dilalui adalah *mounting*, *grinding*, *polishing*, dan *etching*. Setelah permukaan specimen di etsa, maka specimen tersebut siap untuk diamati di bawah mikroskop dan pengambilan foto metalografi. Pengamatan metalografi pada dasarnya adalah melihat

perbedaan intensitas sinar pantul permukaan logam yang dimasukkan ke dalam mikroskop sehingga terjadi gambar yang berbeda (gelap, cukup terang, terang). Dengan demikian apabila seberkas sinar di kenakan pada permukaan specimen maka sinar tersebut akan dipantulkan sesuai dengan orientasi sudut permukaan bidang yang terkena sinar. Semakin tidak rata permukaan, maka semakin sedikit intensitas sinar yang terpantul ke dalam mikroskop. Akibatnya, warna yang tampak pada mikroskop adalah warna hitam. Sedangkan permukaan yang sedikit terkorosi akan tampak berwarna terang (putih) sebagaimana ditunjukkan pada gambar dibawah



Gambar 2.18 Permukaan setelah di etsa

Sumber : [www.ppns.ac.id](http://www.ppns.ac.id)



Gambar 2.19 Ilustrasi Arah Cahaya Pada Foto Mikro

Sumber : [www.ppns.ac.id](http://www.ppns.ac.id)

Setelah didapatkan hasil foto mikro maka tahap selanjutnya yang harus dilakukan adalah menghitung prosentase fasa baja karbon yang terdiri dari *ferrite* dan *pearlite* yang ada pada foto mikro tersebut. Pada hasil pengujian foto mikro butiran yang berwarna terang disebut fasa *ferrite* yang bersifat cenderung ulet, sedangkan pada butiran yang berwarna gelap disebut fasa *pearlite* yang bersifat cenderung lebih keras.

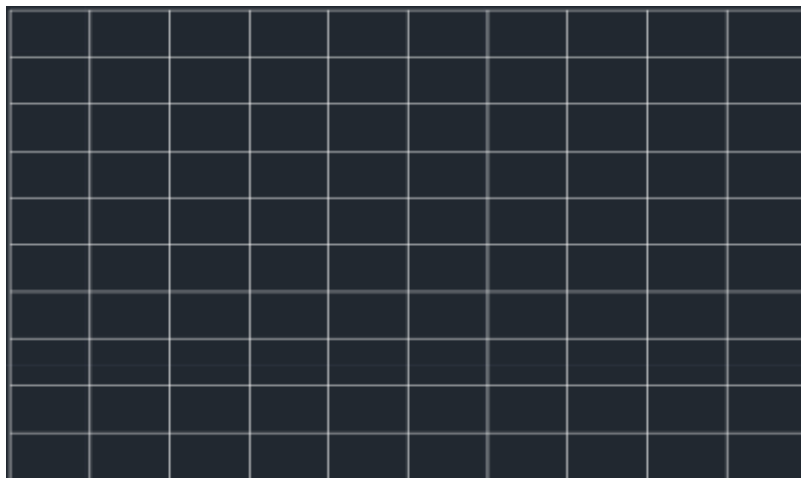




Gambar 2.20 Fasa Baja Karbon

Sumber : ASM Handbook

Metode *point counting* adalah salah satu metode untuk menghitung prosentase fasa baja karbon dengan menggunakan bantuan *software autocad*. Tahap yang pertama adalah memasukkan gambar hasil foto mikro kedalam *software autocad* dengan skala 1:1. Langkah berikutnya adalah membuat persegi dengan besar yang sama dengan gambar dan selanjutnya persegi tersebut dibagi menjadi seratus persegi kecil yang merupakan asumsi dari prosentase baja karbon. Selanjutnya persegi tersebut ditumpangkan pada gambar foto mikro dan digunakan untuk menghitung prosentase dari fasa baja karbon.

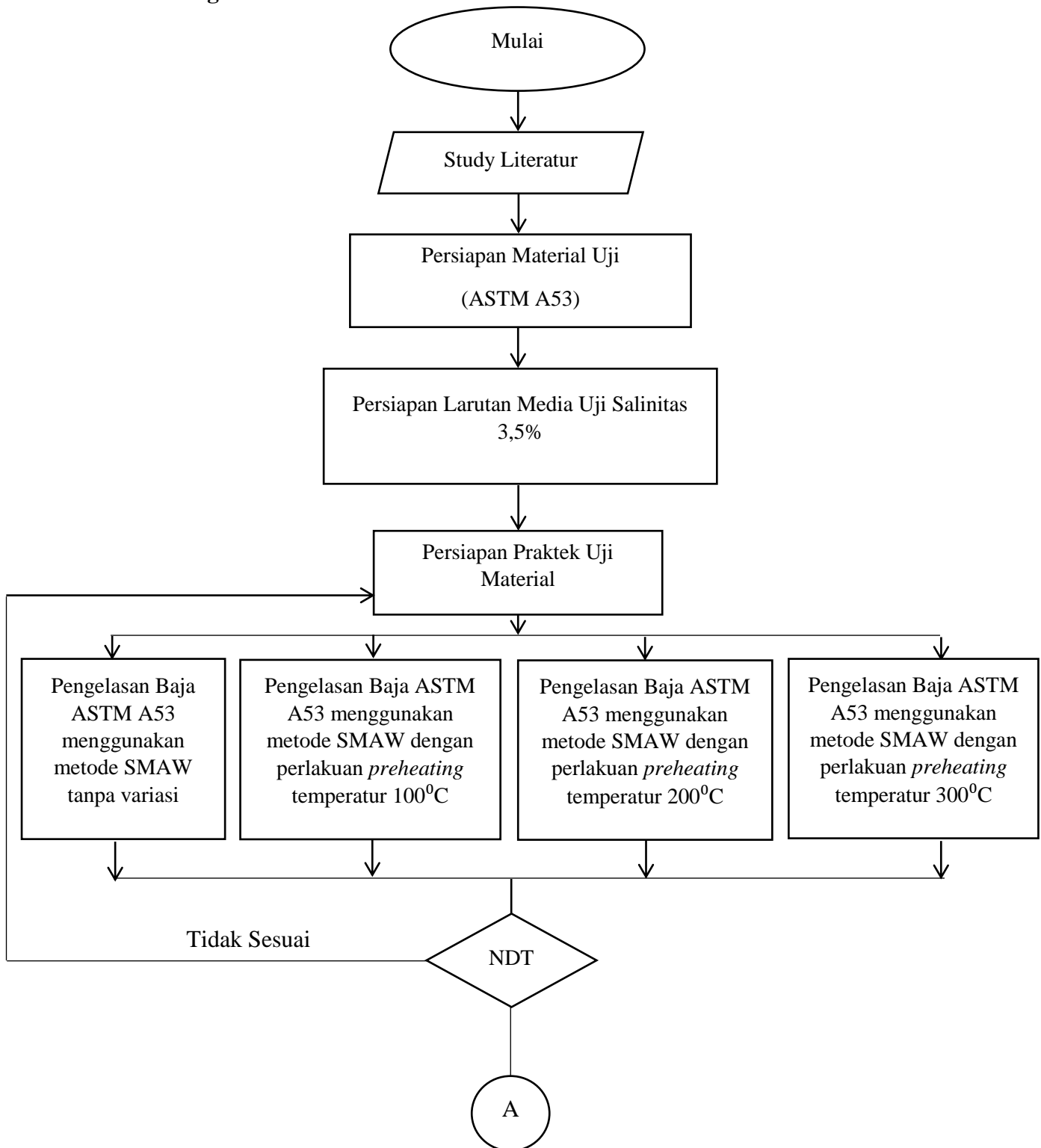


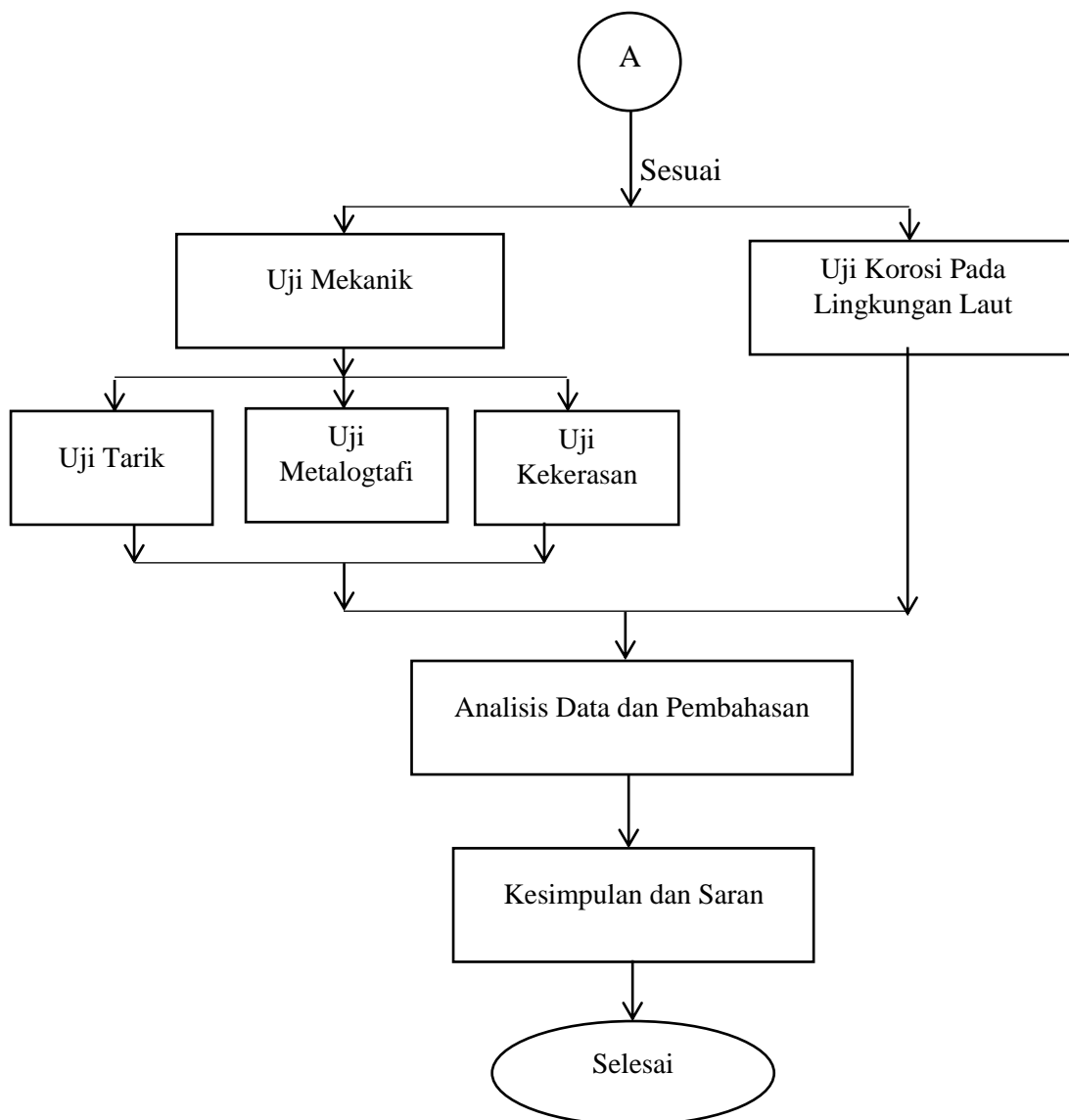
Gambar 2.21 Persegi Metode *Point Counting*

*(Halaman Sengaja Dikосongkan)*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Penjelasan Diagram Alir

Penjelasan dari diagram alir diatas akan dijelaskan pada langkah-langkah dibawah ini:

#### 1. Studi Literatur

Studi literatur ini dilakukan dengan cara membaca dan mempelajari sumber informasi teori yang berhubungan dengan penelitian ini. Literatur yang sudah dipelajari juga digunakan sebagai acuan dan bahan pertimbangan dalam proses mengerjakan tugas akhir ini. Sumber informasi dan teori yang digunakan didapat dari :

- Penelitian Sebelumnya
- Jurnal
- Buku yang relevan
- Standard baku
- Sumber Internet

#### 2. Persiapan Material Uji

Penelitian ini menggunakan spesimen material uji baja karbon sedang (ASTM A53). Spesimen ini berbentuk pipa dengan spesifikasi dan ukuran sebagai berikut :

- Tipe ASTM A 53
- Panjang 300 mm
- Diameter 3 inch
- Tebal 7 mm
- Kampuh V-groove 60°



Gambar 3.2 Spesimen Las

Material yang sudah ada kemudian dipotong dengan ukuran yang sudah ditentukan dan mencukupi untuk bahan pengujian nantinya. Peralatan yang digunakan proses persiapan material adalah :

- Mesin Potong Besi
- Mesin Bubut
- Mesin Gerinda
- Batu Gerinda
- Jangka Sorong
- Kikir

### 3. Persiapan Larutan Media Uji

Penelitian ini menggunakan larutan kimia sebagai pengganti air laut untuk melakukan uji korosi speimen pada lingkungan laut. Komposisi dari larutan uji ini yaitu dengan kadar salinitas 3.5% mengacu pada “*Standard Specification for Substitute Ocean Water*” standard ASTM D1141-90.

Tabel 3.1 dibawah ini adalah keterangan bahan yang digunakan untuk membuat larutan pada kondisi salinitas 3,5%. Untuk membuat larutan sebagai pengganti air laut dengan jumlah 10 liter prosedur yang harus dilakukan sebagai berikut :

- a. Pertama diperlukan larutan 1 sejumlah 200 ml dengan komposisi  $MgCl_2$ ,  $CaCl_2$ , dan  $SrCl_2$
- b. Dan larutan kedua dengan jumlah 200 ml dengan komposisi  $KCl$ ,  $NaHCO_3$ ,  $KBr$ ,  $H_3BO_4$ ,  $SrCl_2$ ,  $NaF$

Adapun cara pencampuran hingga menjadi specimen pengganti air laut adalah sebagai berikut : 245,3 gram  $NaCl$  dan 4.09 gram  $Na_2SO_4$  dilarutkan pada 9 liter air murni. Langkah berikutnya yaitu mencampurkan larutan 1 dan 2 dengan *vigorous stirring*. Maka dengan pencampuran tersebut cairan pengganti air laut siap untuk digunakan. Adapun komposisi dari pengganti larutan air laut tersebut terdapat pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Komposisi Air Laut Buatan

No	Larutan	Konsentrasi (g/L)
1	NaCl	24.53
2	MgCl <sub>2</sub>	5.20
3	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4.09
4	CaCl <sub>2</sub>	1.16
5	KCl	0.695
6	NaHCO <sub>3</sub>	0.201
7	KBr	0.101
8	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.027
9	SrCl <sub>2</sub>	0.025
10	NaF	0.003
11	Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.0000994
12	Mn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.0000340
13	Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.0000308
14	Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.0000096
15	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.0000066
16	AgNO <sub>3</sub>	0.0000049

Sumber : ASTM, 2003

#### 4. Proses Pengelasan

Proses pengelasan adalah proses dimana dilakukan penyambungan dua logam yang nantinya akan menjadi sebuah specimen baru untuk diuji. Pada penelitian tugas akhir ini sebelum dilakukan proses pengelasan spesimen tersebut akan diberi perlakuan *preheating* atau pemanasan mula dengan temperatur hingga 100° C, 200° C, 300° C dan satu specimen tanpa perlakuan *preheating*. Proses pengelasan pada penelitian tugas akhir ini dilakukan berdasarkan pada acuan standard ASME section IX tentang prosedur pengelasan material baja.



Gambar 3.3 Spesimen las setelah dibevel

Peralatan yang harus digunakan dalam proses pengelasan pada penelitian tugas akhir ini SMAW adalah sebagai berikut :

- Mesin las SMAW lengkap dengan peralatannya.
- Pelindung Mata
- Sarung Tangan
- Masker
- Sikat Baja
- Palu
- Penggaris
- Jangka Sorong
- Stopwatch
- Bak Las

Alat-alat perlengkapan tersebut digunakan dengan tujuan untuk memenuhi standar pengelasan sehingga memenuhi standar keamanan.

#### **A. Pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)**

- Persiapan spesimen uji dan bahan. Spesimen yang akan diuji adalah
- baja karbon sedang (ASTM A53) dengan ukuran panjang 30 cm dan diameter 3 inch.
- Elektroda Las AWS E7016 diameter 2,6 mm dan elektroda las AWS E7018 diameter 3,2 mm





Gambar 3.4 Elektroda AWS E 7016

- Proses pengelasan secara umum adalah sebagai berikut :
  - Pengelasan dimulai dengan melakukan *tack weld* agar material tetap pada posisinya.
  - Alur las dihaluskan menggunakan gerinda.
  - Mesin las disiapkan dan diatur mengenai besar arus, voltase mesin las sesuai dengan parameter yang telah ditentukan pada WPS. Adapun spesifikasi prosedur pengelasan (WPS) adalah sebagai berikut :
    - *Welding Process* : *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*
    - *Type* : *Manual*
    - *Joint Design* : *Butt Joint*
    - *Groove* : *Single V groove*
    - *Base Metal* : *ASTM A 53*
    - *Filler Metal* : *E 7016*
    - *Welding Position* : *1G*
    - *Preheating* : *Non Preheating, 100<sup>o</sup>C, 200<sup>o</sup>C, 300<sup>o</sup>C*
    - *Current* : *DC*
    - *Polarity* : *DCRP*
    - *Ampere (Range)* : *75-90 Ampere*
    - *Voltage (Range)* : *20-26 Volt*
    - *Travel Of Speed* : *88-115mm/minute*
  - Proses Pengelasan mulai dilakukan.

- Setelah pengelasan pada layer pertama selesai selanjutnya dilakukan pembersihan kerak las yang menempel pada permukaan lasan dengan menggunakan palu dan sikat baja.
- Permukaan las dibuat rata dengan menggunakan gerinda untuk membentuk alur las bagi layer selanjutnya.

## **B. Proses *Preheating***

*Preheating* pada pengelasan untuk menurunkan *gradient temperatur*. Semua pengelasan busur menggunakan sumber panas temperatur tinggi. Pada material yang dilas akan terjadi perbedaan temperatur antara sumber panas lokal dan material induk yang lebih dingin ketika pengelasan berlangsung. Perbedaan temperatur tersebut menyebabkan perbedaan pemuaian panas dan kontraksi serta tegangan yang tinggi disekitar area yang dilas. *Preheating* akan mengurangi perbedaan temperatur dari material induk sehingga akan meminimalkan masalah yang terjadi seperti distorsi dan tegangan sisa yang berlebih. Apabila tidak dilakukan *preheating* maka bisa terjadi perbedaan temperatur yang besar antara area las-lasan dengan logam induk. Hal ini dapat mengakibatkan pendinginan yang terlalu cepat sehingga menyebabkan terbentuknya martensit dan pada beberapa material dengan *hardenability* yang tinggi mungkin terjadi *cracking*.



Gambar 3.5 Proses *Preheating*

## 5. Uji Tidak Merusak (NDT)

Metode NDT ini dapat untuk menemukan cacat pada material dengan menggunakan sinar X dan sinar gamma. Prinsipnya, sinar X dipancarkan menembus material yang diperiksa. Saat menembus objek, sebagian sinar akan diserap sehingga intensitasnya berkurang. Intensitas akhir kemudian direkam pada film yang sensitif. Jika ada cacat pada material maka intensitas yang terekam pada film tentu akan bervariasi. Hasil rekaman pada film ini lah yang akan memperlihatkan bagian material yang mengalami cacat.

## 6. Uji Ketahanan Spesimen Pada Korosi Lingkungan Laut

- A. Larutan dengan salinitas 3,5 % yang sudah disediakan dipersiapkan untuk melakukan uji lingkungan laut.
- B. Larutan dimasukkan kedalam wadah tempat specimen akan diuji. Kemudian specimen uji dimasukkan kedalam wadah yang sudah diisi dengan larutan yang sudah tersedia.
- C. Alat disambungkan dengan potensiostat untuk disambungkan ke perangkat komputer.
- D. Memasukkan nilai input yang sudah ditentukan kepada *software NOVA*.
- E. Hasil dapat dilihat setelah proses berlangsung selama 30 menit.



Gambar 3.6 Alat *Potensiostat Autolab*

## 7. Uji Kekuatan Tarik

Pengujian kekuatan tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan sambungan logam (*weld joint*) yang telah dilas, kebanyakan sambungan logam yang telah dilas mempunyai kelemahan untuk menerima tegangan tarik maka dari itu dilakukan pengujian untuk memastikan hasil lasan benar-benar layak diaplikasikan. Pada kekuatan tarik pada hasil sambungan las sangat dipengaruhi oleh sifat logam induk, sifat daerah HAZ, sifat logam las, dan geometri serta distribusi tegangan dalam sambungan. Uji tarik yang dilakukan pada suatu material logam akan menghasilkan data grafik tegangan kekuatan tarik yang merupakan parameter kekuatan dari spesimen yang diuji tarik.



Gambar 3.7 Alat Uji Tarik

## 8. Uji Kekerasan *Vickers*

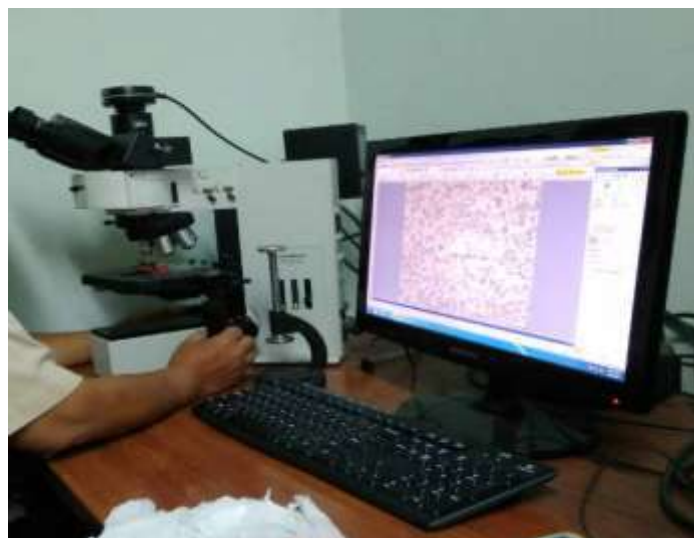
Uji kekerasan ini menggunakan indenter berbahan batu intan dengan bentuk piramida bujur sangkar. Besar sudut kemiringannya  $136^{\circ}$ , besar sudut ini digunakan karena merupakan estimasi rasio terideal indentasi diameter bola pada uji brinel. Besar beban indenter bervariasi antara 1 kg hingga 120 kg. penggunaan beban tergantung kebutuhan.



Gambar 3.8 Alat Uji Kekerasan *Vickers*

## 9. Uji Metalografi

- A. Untuk Pengamatan foto makro dapat dilakukan dengan perbesaran 0.5-50 kali, dilakukan dengan menggunakan kamera dslr. Pengamatan makro dilakukan pada daerah *weld joint* semua specimen hasil pengelasan.
- B. Untuk pengamatan foto mikro, dilakukan menggunakan mikroskop elektronik khusus dengan pembesaran 100-500 kali pada daerah *weld joint*. Pengamatan ini dilakukan di laboratorium.



Gambar 3.9 Perangkat Pengamatan Metalografi

## **10. Analisis dan Pembahasan**

Tahap analisis data ini dilakukan setelah diperoleh data dari hasil pengujian. Dari semua data maka dapat dikelompokkan berdasarkan analisis yang akan dilakukan dan mengacu pada standard yang dipakai. Sehingga penulis dapat melakukan pembahasan dari tujuan awal penelitian yang sudah dirumuskan hingga diperoleh hasilnya setelah melakukan penelitian.

## **11. Kesimpulan dan Saran**

Berdasarkan hasil dari analisis dan pembahasan yang sudah dilakukan maka didapatkan kesimpulan dari hasil analisis tersebut. Dari hasil yang sudah didapat dari analisis juga didapatkan saran-saran untuk yang ingin melanjutkan atau mengembangkan penelitian tugas akhir ini.

## **BAB IV**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Penelitian tugas akhir ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pemanasan mula (*preheating*) pada pengelasan baja karbon sedang ASTM A53 terhadap sifat mekanik dan ketahanan laju korosi di lingkungan laut. Dibutuhkan empat spesimen uji untuk melakukan penelitian ini. Spesimen tersebut dapat dijelaskan dengan rincian satu spesimen las untuk perlakuan tanpa pemanasan mula, satu spesimen las untuk perlakuan panas dengan temperatur 100° C, satu spesimen las untuk perlakuan panas dengan temperatur 200° C, satu las spesimen untuk perlakuan panas dengan temperatur 300° C. Setelah dilakukan pengelasan selanjutnya dilakukan pengujian terhadap spesimen hasil las tersebut. Pengujian yang dilakukan antara lain yaitu uji tidak merusak ( *NDT* radiografi), uji kekuatan tarik (*tensile test*), uji kekerasan tekan (*hardness test*) , uji metalografi (foto makro-mikro) dan uji ketahanan terhadap korosi pada lingkungan laut. Pengujian tersebut bertujuan untuk mengetahui perlakuan pemanasan mula (*preheating*) yang paling tepat pada pengelasan baja karbon sedang ASTM A53. Setelah dilakukan prosedur penelitian seperti yang telah dipaparkan pada BAB III, maka analisis dan pembahasan data akan ditampilkan dan dijelaskan pada BAB IV.

#### **4.1 *Welding Procedure Spesification (WPS)***

Praktikum pengelasan di lakukan di Laboratorium *Welding Center* Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Pengelasan dilakukan pada material pipa baja karbon sedang ASTM A53 dengan spesifikasi panjang 300 mm, diameter 3 inch dan ketebalan 7 mm. Proses pengelasan dilakukan sesuai dengan parameter dalam *Welding Procedure Spesification (WPS)*.

*Welding Procedure Specification (WPS)* adalah prosedur tertulis yang telah terqualifikasi yang disiapkan sebagai panduan untuk operator las dalam melakukan pengelasan yang memenuhi semua persyaratan standard maupun *code* yang sudah ditentukan sebelumnya. *Welding Procedure Specification (WPS)* merupakan standar wajib yang harus dipenuhi dan sebagai prasyrat dalam proses pengelasan pada pengelolaan peralatan atau mesin-mesin industri yang berhubungan dengan pengelasan. *Welding Procedure Specification* wajib harus

dipersiapkan sebelum dilakukannya proses pengelasan. hal ini diterapkan pada pengelasan berbagai produk peralatan atau mesin-mesin industri tersebut yang antara lain adalah *pressure vessel*, *heat exchanger*, dan peralatan *offshore*.



Gambar 4.1 Spesimen ASTM A53 Sebelum dilas

#### **4.1.1 *Welding Procedure Specification (WPS)* pada Material Tanpa Pemanasan Mula**

Dari data *Welding Procedure Specification (WPS)* yang sudah dibuat sebelum proses pengelasan, material baja A 53 tanpa melalui proses preheating terdiri dari dua *layer* pengelasan. Masing-masing *layer* pengelasan dijelaskan sebagai berikut.

- *Layer 1*

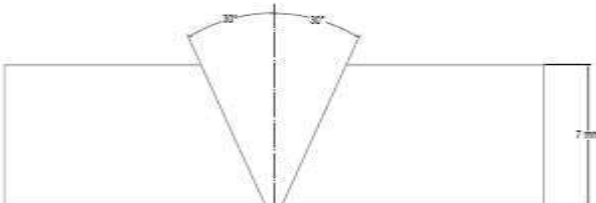

Pada *layer* pertama merupakan pengelasan dasar pada material (*root weld*). Pada tahap ini elektroda yang digunakan adalah tipe E 7016 dengan diameter sebesar 2.6 milimeter. Arus yang digunakan dalam *root weld* sebesar 75 Ampere, dan tegangan sebesar 22 Volt. Dari pencatatan waktu untuk 1 *pass root weld* didapatkan waktu selama 95 detik, sehingga kecepatan pengelasan (*travel speed*) yang dilakukan sebesar 2.51 mm/s . Maka dari data tersebut dapat dicari masukan panas (*heat input*) dari pengelasan pada *root weld* sebesar 0.65 kJ/mm.



- Layer 2

Pada layer kedua pengelasan merupakan daerah mahkota las (*cap*). Pada tahap ini elektroda yang digunakan adalah tipe E 7018 dengan diameter 3.2 milimeter. Arus yang digunakan sebesar 90 Ampere, dan tegangan sebesar 24 volt. Dari pencatatan waktu untuk *pass layer 2* didapatkan selama 108 detik, sehingga kecepatan pengelasan (*travel speed*) untuk 1 pass sebesar 2.21 mm/s. Maka dari data tersebut dapat dicari masukan panas (*heat input*) sebesar 0.93 kJ/mm.

Tabel 4.1 *Welding Procedure Specification* tanpa pemanasan mula

Weld Layer	Weld Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Time (second)	Travel Speed (mm/s)	Heat Input (Kj/mm)
		Class	Diameter	Polarity	Ampere				
1	SMA W	E 7016	2.6	DCSP	75	20-24	95	2.51	0.65
2	SMA W	E 7018	3.2	DCRP	90	20-26	108	2.21	0.93
Weld Preparation					Weld Layer				
									



Gambar 4.2 Hasil Las Tanpa Pemanasan Mula

#### 4.1.2 Welding Procedure Specification (WPS) pada Material Dengan Pemanasan Mula 100° C

Dari data *Welding Procedure Specification* (WPS) yang sudah dibuat sebelum proses pengelasan, material baja A 53 melalui proses *preheating* 100° C terdiri dari 2 layer pengelasan. Masing-masing *layer* pengelasan dijelaskan sebagai berikut.

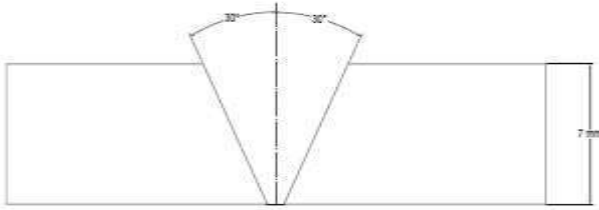

- Layer 1

Pada layer pertama merupakan pengelasan dasar pada material (*root weld*). Pada tahap ini elektroda yang digunakan adalah tipe E 7016 dengan diameter 2.6 milimeter. Arus yang digunakan dalam *root weld* sebesar 75 Ampere, dan tegangan sebesar 20 Volt. Dari pencatatan waktu untuk 1 *pass root weld* didapatkan selama 88 detik, sehingga kecepatan pengelasan (*travel speed*) sebesar 2.71 mm/s . Maka dari data tersebut dapat dicari masukan panas (*heat input*) sebesar 0.60 kJ/mm.

- Layer 2

Pada layer kedua pengelasan merupakan daerah mahkota (*cap*). Pada tahap ini elektroda yang digunakan adalah tipe E 7018 dengan diameter 3.2 milimeter. Arus yang digunakan sebesar 90 Ampere, dan tegangan sebesar 24 volt. Dari pencatatan waktu untuk *pass layer 2* didapatkan selama 115 detik, sehingga kecepatan pengelasan (*travel speed*) untuk 1 pass sebesar 2.08 mm/s. Maka dari data tersebut dapat dicari masukan panas (*heat input*) sebesar 0.99 kJ/mm.

Tabel 4.2 *Welding Procedure Specification* dengan pemanasan mula 100° C

Weld Layer	Weld Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Time (second)	Travel Speed (mm/s)	Heat Input (Kj/mm)
		Class	Diameter	Polarity	Ampere				
1	SMAW	E 7016	2.6	DCSP	75	20-24	88	2.71	0.60
2	SMAW	E 7018	3.2	DCRP	90	20-26	115	2.08	0.99
Weld Preparation					Weld Layer				
									



Gambar 4.3 Hasil Las Dengan Pemanasan Mula 100°C

#### 4.1.3 *Welding Procedure Specification (WPS)* pada Material Dengan Pemanasan Mula 200° C

Dari data *Welding Procedure Specification (WPS)* yang sudah dibuat sebelum proses pengelasan, material baja A 53 melalui proses *preheating* 200° C terdiri dari 2 layer pengelasan. Masing-masing *layer* pengelasan dijelaskan sebagai berikut.

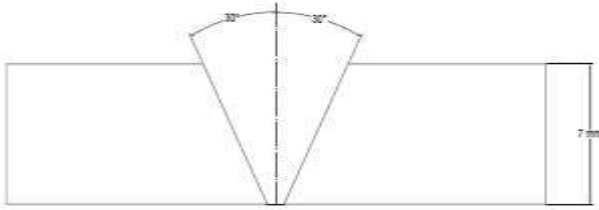

- Layer 1

Pada layer pertama merupakan pengelasan dasar pada material (*root weld*). Pada tahap ini elektroda yang digunakan adalah tipe E 7016 dengan diameter 2.6 milimeter. Arus yang digunakan dalam *root weld* sebesar 75 Ampere, dan tegangan sebesar 20 Volt. Dari pencatatan waktu untuk 1 *pass root weld* didapatkan selama 90 detik, sehingga kecepatan pengelasan (*travel speed*) sebesar 2.65 mm/s . Maka dari data tersebut dapat dicari masukan panas (*heat input*) sebesar 0.62 kJ/mm.

- Layer 2

Pada layer kedua pengelasan merupakan daerah mahkota (*cap*). Pada tahap ini elektroda yang digunakan adalah tipe E 7018 dengan diameter 3.2 milimeter. Arus yang digunakan sebesar 90 Ampere, dan tegangan sebesar 24 volt. Dari pencatatan waktu untuk *pass layer 2* didapatkan selama 100 detik, sehingga kecepatan pengelasan (*travel speed*) untuk 1 pass sebesar 2.39 mm/s. Maka dari data tersebut dapat dicari masukan panas (*heat input*) sebesar 0.86 kJ/mm.

Tabel 4.3 *Welding Procedure Specification* dengan pemanasan mula 200° C

Weld Layer	Weld Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Time (second)	Travel Speed (mm/s)	Heat Input (Kj/mm)
		Class	Diameter	Polarity	Ampere				
1	SMAW	E 7016	2.6	DCSP	75	20-24	90	2.65	0.62
2	SMAW	E 7018	3.2	DCRP	90	20-26	100	2.39	0.86
Weld Preparation					Weld Layer				
									



Gambar 4.4 Hasil las Dengan Pemanasan Mula 200°C

#### 4.1.4 *Welding Procedure Specification* (WPS) pada Material Dengan Pemanasan Mula 300° C

Dari data *Welding Procedure Specification* (WPS) yang sudah dibuat sebelum proses pengelasan, material baja A 53 melalui proses *preheating* 300° C terdiri dari 2 layer pengelasan. Masing-masing *layer* pengelasan dijelaskan sebagai berikut.

- Layer 1

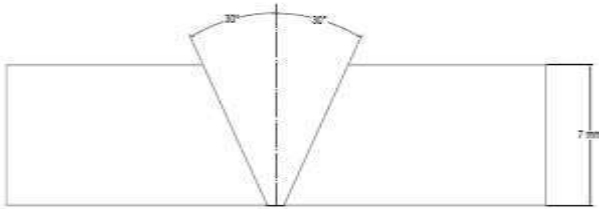

Pada layer pertama merupakan pengelasan dasar pada material (*root weld*). Pada tahap ini elektroda yang digunakan adalah tipe E 7016 dengan diameter 2.6 milimeter. Arus yang digunakan dalam *root weld* sebesar 75 Ampere, dan tegangan sebesar 20 Volt. Dari pencatatan waktu untuk 1 pass *root weld* didapatkan selama 78 detik, sehingga kecepatan pengelasan

(*travel speed*) sebesar 3.06 mm/s . Maka dari data tersebut dapat dicari masukan panas (*heat input*) sebesar 0.53 kJ/mm.

- Layer 2

Pada layer kedua pengelasan merupakan daerah mahkota (*cap*). Pada tahap ini elektroda yang digunakan adalah tipe E 7016 dengan diameter 3.2 milimeter. Arus yang digunakan sebesar 90 Ampere, dan tegangan sebesar 24 volt. Dari pencatatan waktu untuk *pass layer 2* didapatkan selama 97 detik, sehingga kecepatan pengelasan (*travel speed*) untuk 1 pass sebesar 2.46 mm/s. Maka dari data tersebut dapat dicari masukan panas (*heat input*) sebesar 0.84 kJ/mm.

Tabel 4.4 *Welding Procedure Specification* dengan pemanasan mula 300° C

Weld Layer	Weld Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Time (second)	Travel Speed (mm/s)	Heat Input (Kj/mm)
		Class	Diameter	Polarity	Ampere				
1	SMAW	E 7016	2.6	DCSP	75	20-24	78	3.06	0.53
2	SMAW	E 7018	3.2	DCRP	90	20-26	97	2.46	0.84
Weld Preparation					Weld Layer				
									



Gambar 4.5 Hasil Las Dengan Pemanasan Mula 300°C

## 4.2 Hasil Penelitian Pengelasan

### 4.2.1 Uji Tidak Merusak (*NDT Radiography*)

Uji tidak merusak atau *non destrructive test (NDT)* adalah aktivitas tes atau inspeksi terhadap suatu benda untuk mengetahui adanya cacat, retak, dan kecacatan lain tanpa merusak benda yang dites. Pada dasarnya, tes ini dilakukan untuk menjamin bahwa material yang kita gunakan dapat dipastikan aman dan tidak melewati batas *damage tolerance*. NDT dilakukan paling tidak sebanyak dua kali. Pertama, setelah selesai proses fabrikasi untuk menentukan suatu komponen tidak melewati batas *damage tolerance* dan dapat diterima setelah melalui tahapan fabrikasi. NDT ini dijadikan sebagai bagian dari kendali mutu komponen. Kedua, NDT dilakukan setelah komponen digunakan dalam jangka waktu tertentu dengan tujuan menemukan kegagalan parsial sebelum melampaui batas *damage tolerance*.

Metode NDT *radiography* bertujuan untuk menemukan cacat pada material dengan menggunakan sinar X atau sinar gamma. Prinsipnya, sinar X dipancarkan menembus material yang diperiksa. Saat menembus objek, sebagian sinar akan diserap sehingga intensitasnya berkurang. Intensitas akhir kemudian direkam pada film yang sensitif. Jika ada cacat pada material maka intensitas yang terekam pada film tentu akan bervariasi. Hasil rekaman pada film ini lah yang akan memeprilihatkan bagian material yang mengalami cacat.



Gambar 4.6 Hasil NDT 0° Tanpa Pemanasan Mula





Gambar 4.7 Hasil NDT 90° Tanpa Pemanasan Mula

Hasil non destructive test pada pengelasan pipa baja karbon sedang ASTM A53 tanpa perlakuan *preheating* spesimen tidak mengalami cacat pada hasil lasan. Hal tersebut dapat dilihat dari film NDT Radiografi pada gambar 4.6 dan 4.7. Namun pada hasil film terlihat bahwa hasil pengelasan baja karbon sedang ASTM A53 tanpa perlakuan *preheating* terjadi penetrasi yang kurang baik. Hal tersebut diakibatkan karena gradien temperatur antara daerah lasan dan material induk yang berbeda jauh dan pada dasarnya pada material baja karbon sedang membutuhkan perlakuan panas (*preheating*) sebelum dilakukan pengelasan untuk menurunkan gradien temperatur.



Gambar 4.8 Hasil NDT 0° Pemanasan Mula 100° C



Gambar 4.9 Hasil NDT 90° Pemanasan Mula 100° C

Hasil non destructive test pengelasan pipa baja karbon sedang ASTM A53 dengan perlakuan *preheating* temperatur 100°C tidak mengalami cacat pada hasil lasan. Hal tersebut dapat dilihat dari film NDT Radiografi pada gambar 4.8 dan 4.9. Namun pada hasil film terlihat bahwa hasil pengelasan baja karbon sedang ASTM A53 dengan perlakuan *preheating* temperatur 100°C terlihat lebih baik dibandingkan dengan pengelasan sebelumnya. Hal ini terjadi karena pada pengelasan ini sudah dilakukan perlakuan panas (*preheating*) sebelum dilakukan pengelasan dengan temperatur 100°C



Gambar 4.10 Hasil NDT 0° Pemanasan Mula 200° C





Gambar 4.11 Hasil NDT 90° Pemanasan Mula 200° C

Hasil *non destructive test* pengelasan pipa baja karbon sedang ASTM A53 dengan perlakuan *preheating* 200°C spesimen tidak mengalami cacat pada hasil lasan. Hal tersebut dapat dilihat dari film NDT Radiografi pada gambar 4.10 dan 4.11. Namun pada hasil film terlihat bahwa hasil pengelasan baja karbon sedang ASTM A53 dengan perlakuan *preheating* 200°C penetrasi yang terjadi semakin membaik seiring meningkatnya temperatur *preheating* yang diberikan sehingga kualitas hasil las juga meningkat pada sifat mekanik.



Gambar 4.12 Hasil NDT 0° Pemanasan Mula 300° C



Gambar 4.13 Hasil NDT 90° Pemanasan Mula 300° C

Hasil *non destructive test* pengelasan pipa baja karbon sedang ASTM A53 dengan perlakuan *preheating* 300°C tidak mengalami cacat las. Hal tersebut dapat dilihat dari film NDT Radiografi pada gambar 4.12 dan 4.13. Dilihat dari hasil film terlihat bahwa hasil pengelasan baja karbon sedang ASTM A53 dengan perlakuan *preheating* 300°C penetrasi yang terjadi paling baik dari semua perlakuan yang ada. Hal ini terjadi karena pengaruh suhu temperatur yang diberikan semakin tinggi sehingga perbedaan suhu antara daerah las dan material induk semakin kecil.

#### 4.2.2 Uji Ketahanan Korosi

Pengujian spesimen terhadap ketahanan korosi dilakukan dengan suatu tujuan yang spesifik yaitu untuk mengetahui laju korosi tiap-tiap specimen pada lingkungan laut. Perencanaan dan pelaksanaan yang baik biasanya akan mendapatkan hasil yang “*reproducible*” dan “*reliability*”, kedua factor ini sangat penting dalam pengujian korosi. Pengujian korosi dan aplikasi dari hasilnya dianggap menjadi aspek yang sangat penting dalam bidang *corrosion engineering*. Banyak pengujian korosi dilakukan untuk pemilihan material atau konstruksi peralatan dalam proses produksi. Oleh karena itu pengujian korosi pada penelitian tugas akhir ini dinilai sangat penting untuk dilakukan.

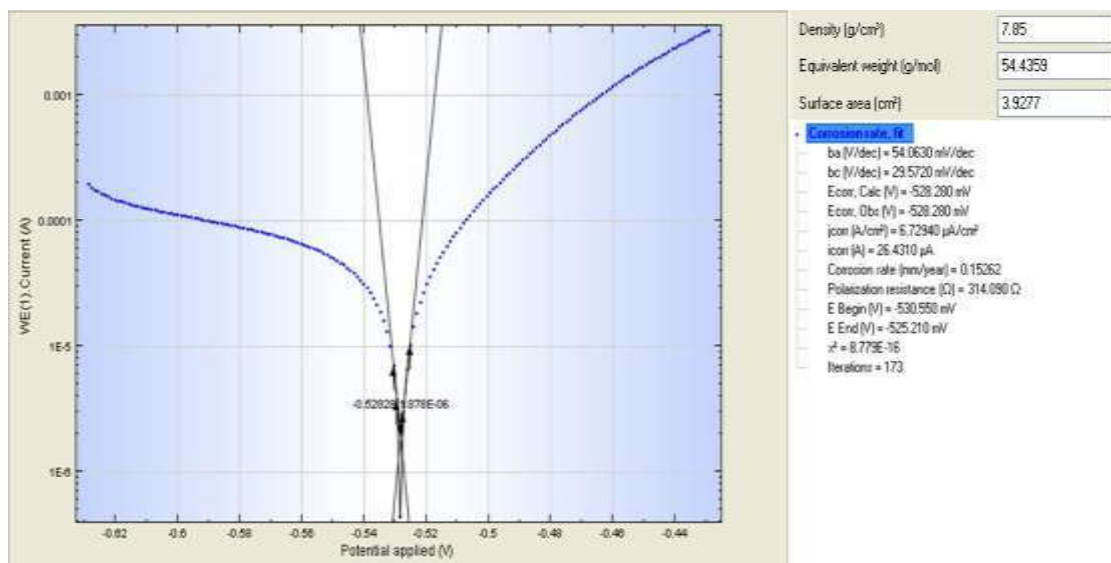
Pengujian korosi pada tiap spesimen dilakukan dengan menggunakan metode sel tiga elektroda dengan media alat potensiostat autolab (PGSTAT302N)

dan *software* nova. Secara otomatis *software* akan menghitung laju korosi dari tiap-tiap spesimen yang diuji. Data yang diperlukan untuk pengujian ini antara lain massa jenis ( $\text{g/cm}^3$ ) *equivalent weight* ( $\text{g/mol}$ ) dan luas area specimen yang diuji ( $\text{cm}^2$ ). Data yang didapatkan dari output pengujian adalah nilai rapat arus dan potensial. Perhitungan laju korosi juga dilakukan berdasar pada hukum faraday dengan cara memasukkan nilai kerapatan arus dari hasil pengujian ke persamaan hukum faraday, selanjutnya hasilnya dibandingkan dan dianalisis. Dari analisis didapatkan diagram tafel yang menunjukkan potensial dan kerapatan arus. Pada diagram tafel sumbu X menunjukkan potensial sedangkan sumbu Y menunjukkan kerapatan arus. Diagram tafel akan membentuk titik-titik kerapatan dan potensial arus sesuai dari alat yang digunakan. Dari titik-titik tersebut ditarik dua garis lurus sesuai dengan ketentuan yang ada dan akan diperoleh nilai laju korosi spesimen.

#### 4.2.2.1 Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sampel : A53 Non Preheating

Larutan elektrolit : NaCl 3,5%

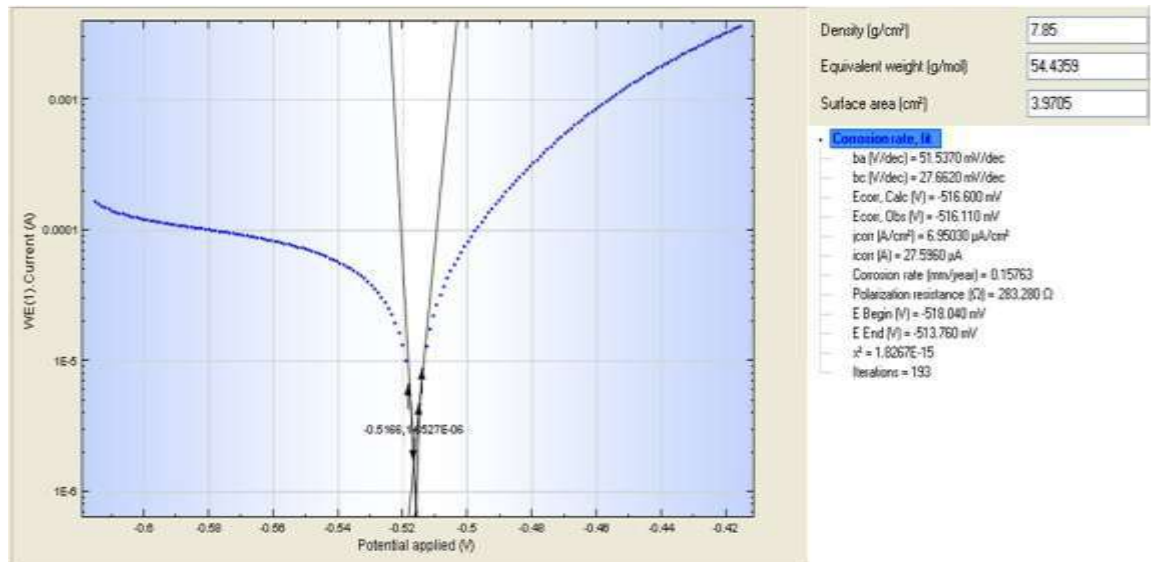


Gambar 4.14 Hasil Uji Korosi Las Tanpa Pemanasan Mula

Hasil pengujian korosi weld joint pengelasan baja karbon sedang ASTM A53 tanpa perlakuan *preheating* didapatkan hasil  $E_{corrosion}$  sebesar -0.528 V,  $I_{corrosion}$  sebesar  $26.431 \text{ A/cm}^2$  dan *corrosion rate* 0.15262 mm/year. Hasil ini paling rendah dibandingkan perlakuan dengan *preheating*, ini disebabkan karena pengaruh gradien panas antara daerah las yang tinggi dan logam induk yang

rendah sehingga penetrasi yang terjadi pada proses pengelasan adalah penetrasi dangkal sehingga daerah HAZ pada pengelasan ini memiliki penampang yang sempit dan memberikan dampak pada laju korosi yang terjadi rendah.

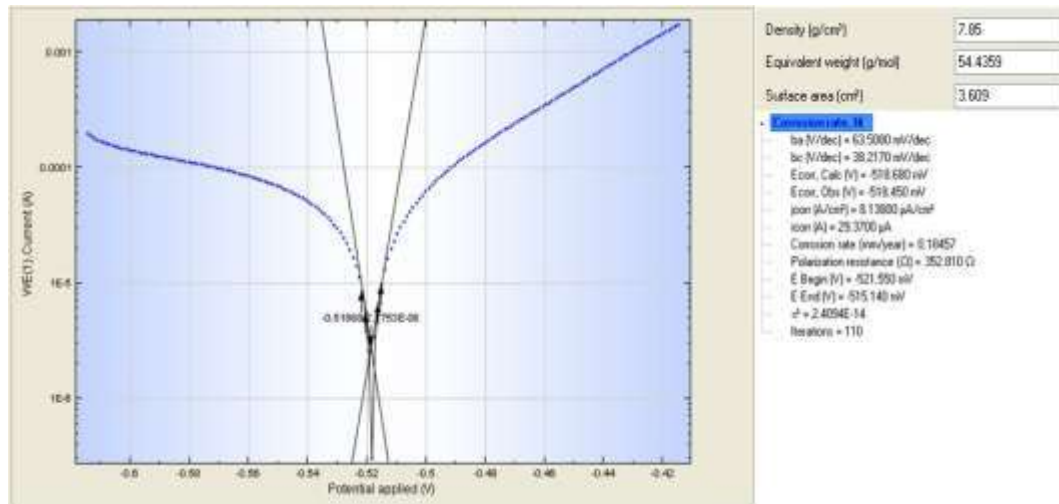
Nama Sample : A53 *Preheating* 100°C  
 Larutan elektrolit : NaCl 3,5%



Gambar 4.15 Hasil Uji Korosi Las Dengan Pemanasan Mula 100°C

Hasil pengujian korosi weld joint pada pengelasan baja karbon sedang ASTM A53 dengan perlakuan *preheating* temperatur 100°C didapatkan hasil  $E_{corrosion}$  sebesar -0.516 V,  $I_{corrosion}$  sebesar 27.596 A/cm<sup>2</sup> dan *corrosion rate* 0.15763 mm/year. Hasil laju korosi pada pengujian ini lebih tinggi dibandingkan pengelasan tanpa perlakuan *preheating*, ini disebabkan karena pengaruh panas *preheating* yang diberikan sehingga hal tersebut menyebabkan gradien temperatur antara logam induk dan daerah lasan berkurang. Sehingga penetrasi yang terjadi pada proses pengelasan dengan diberikan perlakuan *preheating* menjadi lebih dalam dibandingkan specimen tanpa diberikan perlakuan *preheating* dan perlakuan ini berpengaruh pada penampang HAZ yang lebih lebar sehingga laju korosi akan meningkat.

Nama Sampel : A53 *Preheating* 200°C  
 Larutan elektrolit : NaCl 3,5%

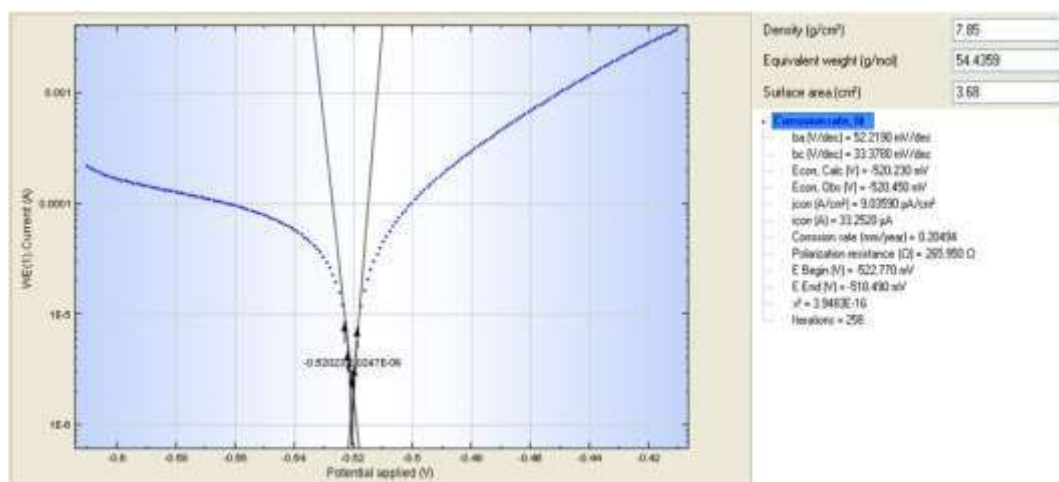


Gambar 4.16 Hasil Uji Korosi Las Dengan Pemanasan Mula 200°C

Hasil pengujian korosi weld joint pengelasan baja karbon sedang ASTM A53 dengan perlakuan pre heating 200°C didapatkan hasil  $E_{corrosion}$  sebesar -0.518 V,  $I_{corrosion}$  sebesar 29.370 A/cm<sup>2</sup> dan  $corrosion\ rate$  0.18457 mm/year. Hasil ini lebih tinggi dibandingkan dari dua perlakuan yang sudah dilakukan, ini disebabkan karena pengaruh panas pre heating yang semakin tinggi sehingga gradien temperatur antara logam induk dan daerah lasan semakin berkurang dan logam induk lebih mudah menyatu dengan logam las. Lebih menyatunya antar logam berpengaruh pada penetrasi yang terjadi pada proses pengelasan lebih dalam. Sehingga penampang HAZ semakin lebar dan menyebabkan sifat material menjadi lebih korosif.

Nama Sampel : A53 Preheating 300°C

Larutan elektrolit : NaCl 3,5%

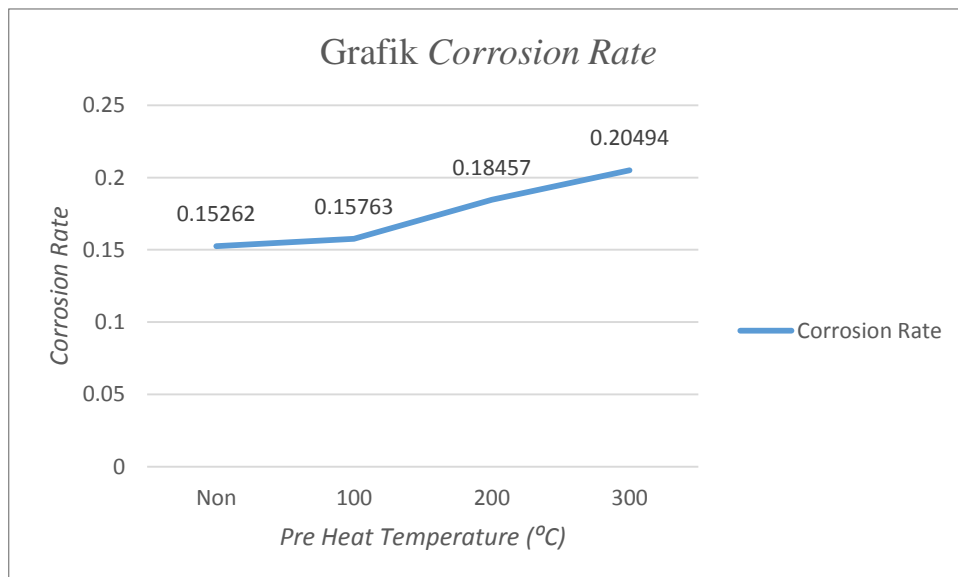


Gambar 4.17 Hasil Uji Korosi Las Dengan Pemanasan Mula 300°C

Hasil pengujian korosi weld joint pengelasan baja karbon sedang ASTM A53 dengan perlakuan *preheating* 300°C didapatkan hasil *E corrosion* sebesar - 0.520 V, *I corrosion* sebesar 33.252 A/cm<sup>2</sup> dan *corrosion rate* 0.20494 mm/year. Hasil ini paling tinggi dibandingkan dari semua perlakuan yang sudah dilakukan, ini disebabkan karena pengaruh panas *preheating* yang semakin tinggi sehingga logam induk akan lebih mudah untuk menyatu dengan logam las. Lebih mudahnya antar logam untuk menyatu maka penetrasi yang terjadi pada proses pengelasan akan lebih dalam, dengan lebih dalamnya penetrasi maka berpengaruh pada area *HAZ* yang lebih besar sehingga sifat material menjadi lebih korosif.

Tabel 4.5 *Corrosion Rate*

No	Spesimen Uji	Corrosion Rate
1	Tanpa Pemanasan Mula	0.15262 mm/year
2	Pemanasan Mula 100°C	0.15763 mm/year
3	Pemanasan Mula 200°C	0.18457 mm/year
4	Pemanasan Mula 300°C	0.20494 mm/year



Grafik 4.1 *Corrosion Rate*

Dari hasil uji korosi yang sudah dilakukan dapat diketahui bahwa pemberian perlakuan temperatur *preheating* mempengaruhi laju korosi dari spesimen baja karbon sedang ASTM A53. Semakin tinggi pemanasan yang dilakukan semakin tinggi ekspansi *thermal* pada daerah las. Hasil pengujian laju korosi menggunakan

sel tiga elektroda menyatakan bahwa semakin tinggi perlakuan temperatur *preheating* yang diberikan maka semakin tinggi pula laju korosi yang terjadi terhadap specimen yang diuji, hal ini terjadi karena temperatur *preheating* yang semakin tinggi menyebabkan HAZ semakin melebar sehingga merakibat daerah HAZ semakin korosif.

#### **4.2.3 Uji Mekanik**

Sifat mekanik adalah perilaku dan kemampuan suatu bahan ketika menerima beban tertentu. Sifat mekanik antara lain kekuatan tarik, kekuatan luluh, kekerasan, keuletan, ketahanan terhadap beban lingkungan. Dalam aplikasinya tidak harus semua sifat unggul dimiliki material. Sifat unggul yang dimiliki dapat disesuaikan dengan aplikasi penggunaan material tersebut. Beberapa sifat mekanik bahan menunjukkan adanya kecenderungan berbanding terbalik. Dengan demikian pemilihan suatu material dan pemberian perlakuan yang tepat akan menjadi optimasi dari beberapa sifat yang dimiliki dan sesuai kebutuhan yang diperlukan.

##### **4.2.3.1 Uji Kekuatan Tarik**

Uji Tarik merupakan salah satu pengujian untuk mengetahui sifat-sifat suatu material. Dengan menarik suatu material kita akan dapat mengetahui bagaimana material tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang hingga mengalami patah. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkeraman (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*). Pengujian tarik mengacu pada suatu standard. Uji tarik pada tugas akhir ini mengacu pada standard ASME IX

#### **Alat dan Bahan**

Alat dan bahan yang diperlukan untuk membuat spesimen tarik adalah,

- Spesimen hasil las
- Mesin Potong
- Gerinda
- Alat Penggores
- Jangka Sorong
- Alat Pelindung Diri
- Penggaris



### Prosedur Pembuatan Spesimen

Dalam pembuatan specimen uji tarik ada beberapa langkah yang harus dilalui. Berikut langkah-langkah pembuatan specimen uji tarik,

- Memotong specimen menggunakan mesin potong hidrolik dengan ukuran yang sudah ditentukan.



Gambar 4.18 Pemotongan Spesimen

- Menggambar desain pada specimen dengan alat gores dan alat ukur.
- Membuat bentuk specimen tarik dari hasil pemotongan awal menggunakan gerinda.



Gambar 4.19 Pembentukan specimen tarik



- Setelah material selesai dibentuk maka dihaluskan pada weld joint dan daerah tepi, kemudian material siap untuk diuji.



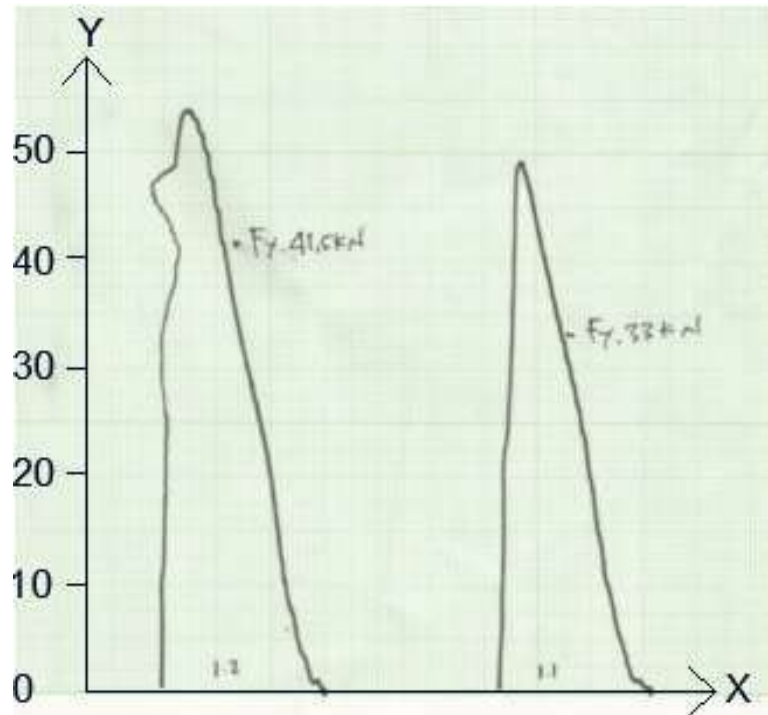
Gambar 4.20 Spesimen Tarik Siap Uji

#### Hasil Uji Tarik



Gambar 4.21 Spesimen Setelah Diuji Tarik

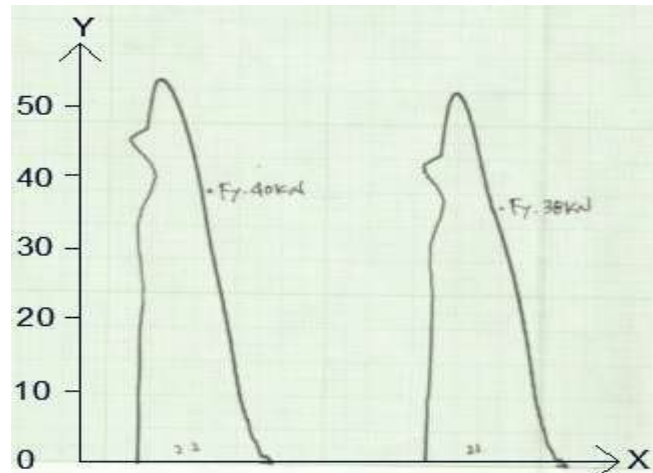
Hasil dari uji tarik adalah berupa grafik. Grafik tersebut menunjukkan hasil tegangan luluh dan tegangan maksimum dari material yang diuji. Dari grafik tersebut juga dapat diketahui identitas daerah patahan yang terjadi dari pengujian specimen. Berikut dijelaskan hasil dari setiap pengujian dan hasil perhitungan uji tarik tiap-tiap specimen,



Gambar 4.22 Grafik Uji Tarik Spesimen 1.1 dan 1.2

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Uji Tarik Tanpa Pemanasan Mula

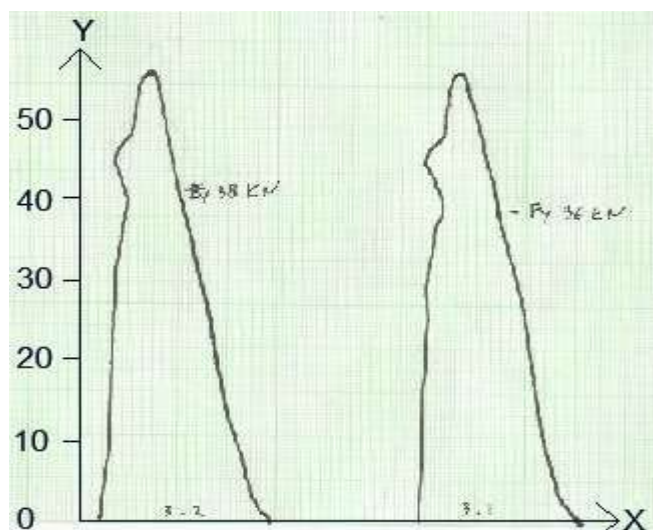
TENSILE TEST									
TEST PIECE CODE	VISUAL	SAMPLE SPECIFICATION					TENSILE TEST RESULTS		
		WIDTH	THICK.	C.S.A	Fy	Fu	YIELD STRENGTH	TENSILE STRENGTH	BREAKING
		(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(KN)	(KN)	(MPa)	(MPa)	
1.1	Low	19.01	5.06	96.19	33.00	49.00	343.07	509.41	Weld Metal
1.2	Good	18.45	4.88	90.03	41.50	54.00	460.96	599.80	Base Metal



Gambar 4.23 Grafik Uji Tarik Spesimen 2.1 dan 2.2

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Uji Tarik Dengan Pemanasan Mula 100°C

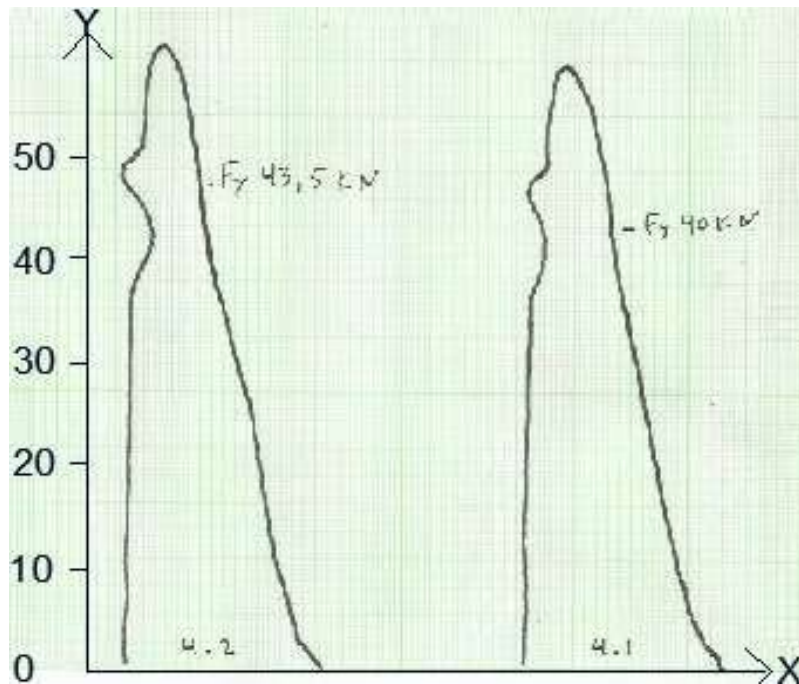
TENSILE TEST									
TEST PIECE CODE	VISUAL	SAMPLE SPECIFICATION					TENSILE TEST RESULTS		
		WIDTH	THICK.	C.S.A	Fy	Fu	YIELD STRENGTH	TENSILE STRENGTH	BREAKING
		(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(KN)	(KN)	(MPa)	(MPa)	
2.1	Good	18.31	5.25	96.12	38.00	55.00	395.34	572.20	Base Metal
2.2	Good	18.95	5.05	95.69	40.00	56.50	418.02	590.45	Base Metal



Gambar 4.24 Grafik Uji Tarik Spesimen 3.1 dan 3.2

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Uji Tarik Dengan Pemanasan Mula 200°C

TENSILE TEST									
TEST PIECE CODE	VISUAL	SAMPLE SPECIFICATION					TENSILE TEST RESULTS		
		WIDTH (mm)	THICK. (mm)	C.S.A (mm <sup>2</sup> )	F <sub>y</sub> (KN)	F <sub>u</sub> (KN)	YIELD STRENGTH (MPa)	TENSILE STRENGTH (MPa)	BREAKING
3.1	Good	18.23	4.92	89.69	36.00	51.50	401.38	574.20	Base Metal
3.2	Good	18.27	4.75	86.78	38.00	51.50	437.88	593.45	Base Metal



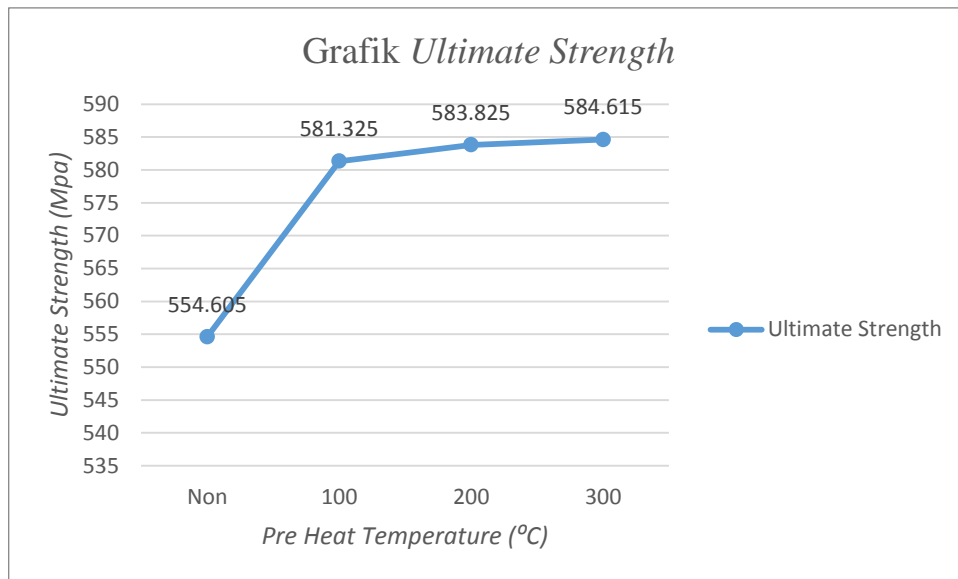
Gambar 4.25 Grafik Uji Tarik Spesimen 4.1 dan 4.2

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Uji Tarik Dengan Pemanasan Mula 300°C

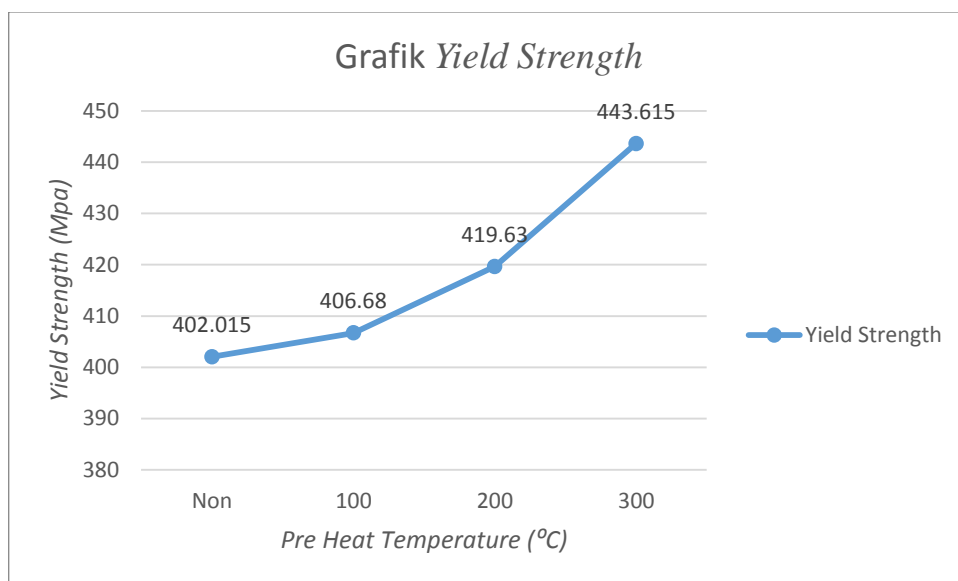
TENSILE TEST									
TEST PIECE CODE	VISUAL	SAMPLE SPECIFICATION					TENSILE TEST RESULTS		
		WIDTH (mm)	THICK. (mm)	C.S.A (mm <sup>2</sup> )	Fy (KN)	Fu (KN)	YIELD STRENGTH (MPa)	TENSILE STRENGTH (MPa)	BREAKING
4.1	Good	18.67	4.96	92.60	40.00	54.00	431.97	583.15	Base Metal
4.2	Good	18.81	5.08	95.55	43.50	56.00	455.26	586.08	Base Metal

Dari data pengujian tarik berdasarkan perhitungan pada tabel 4.6 hingga tabel 4.9 didapatkan hasil bahwa perlakuan *preheating* berpengaruh pada kekuatan tarik baja karbon sedang ASTM A53. Hasil dari penelitian tugas akhir ini didapatkan spesimen yang tidak diberikan perlakuan *preheating* memiliki kekuatan tarik yang paling rendah yaitu 554.605 MPa dan salah satu material ujinya mengalami patah pada *weld metal*. spesimen dengan *preheating* 100°C memiliki nilai rata-rata kekuatan tarik sebesar 581.325 MPa. spesimen dengan *preheating* 200°C memiliki nilai rata-rata kekuatan tarik sebesar 583.825 MPa. spesimen dengan *preheating* 300°C memiliki rata-rata kekuatan tarik paling tinggi yaitu 584.615 MPa.

Mulai dari spesimen tanpa perlakuan *preheating* hingga spesimen yang diberikan perlakuan temperatur *preheating* 300°C kekuatan tarik berbanding lurus mengalami peningkatan. Peningkatan kekuatan tarik searah dengan temperatur *preheating* yang diberikan. Hal ini disebabkan karena pengaruh temperatur *preheating* yang semakin tinggi. Sehingga semakin tinggi temperatur *preheating* yang diberikan maka penetrasi yang terjadi pada saat berlangsungnya proses pengelasan semakin dalam sehingga *base metal* dan *weld metal* menyatu dengan lebih baik dan membentuk *HAZ* yang lebih lebar. Berikut juga dilampirkan grafik 4.2 kekuatan tarik dan luluh setiap spesimen.



Grafik 4.2 Tensile Strength Speciment



Grafik 4.3 Yield Strength Speciment

Menurut standart ASME Section IX 2002, kriteria pengujian tarik dapat diterima (*acceptable*), bila kekuatan tarik spesimen tidak kurang dari kriteria berikut ini :

- Kekuatan tarik minimum ditentukan dari kekuatan tarik logam induk.
- Kekuatan tarik minimum dari logam las, jika standart yang digunakan menentukan menggunakan logam las dengan kekuatan tarik yang lebih rendah dibanding logam induk pada suhu ruang.
- Bila specimen patah pada logam dasar diluar daerah pengelasan atau diluar daerah fusi las maka material dinyatakan lulus uji dengan syarat kekuatan

tarik minimum 5% lebih rendah dari kekuatan tarik minimum yang didapatkan dari kekuatan tarik logam induk.

Dibawah ini hasil perbandingan kekuatan tarik logam induk ASTM A53 dengan spesimen uji tarik menggunakan variasi suhu *preheating*.

Tabel 4.10 Perbandingan Uji Tarik Material Induk dengan Spesimen

Test Piece	Tensile Strength (MPa)	Kontingensi (%)	Breaking
BM ASTM A53	424.5	100	Base Metal
1.1	509.41	120.00	Weld Metal
1.2	599.80	141.29	Base Metal
2.1	572.20	134.79	Base Metal
2.2	590.45	139.09	Base Metal
3.1	574.20	135.26	Base Metal
3.2	595.44	140.26	Base Metal
4.1	583.15	137.37	Base Metal
4.2	586.08	138.06	Base Metal

Tabel 4.10 menunjukkan keontingensi hasil las terhadap logam induk ASTM A53 lebih dari 5% kekuatan tarik hingga patah diluar daerah pengelasan. Hanya ada 1 spesimen yang mengalami patah pada daerah las yaitu spesimen yang tidak mendapatkan perlakuan *preheating*, maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan pre heating berpengaruh terhadap kekuatan tarik spesimen las baja ASTM A53.

#### 4.2.3.2 Uji Kekerasan *Vickers*

Kekerasan (*Hardness*) adalah salah satu sifat mekanik (*Mechanical properties*) dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaanya akan mangalami pergesekan (*frictional force*) dan deformasi plastis. Deformasi plastis sendiri suatu keadaan dari suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk asal artinya material tersebut tidak dapat kembali ke bentuknya semula. Lebih ringkasnya kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban identasi atau penetrasi. Material dilakukan pengujian dengan berbagai pertimbangan antara lain untuk mengetahui karakteristik suatu material dan mengetahui mutu untuk

memastikan suatu material memiliki spesifikasi kualitas tertentu. Pada penelitian kali ini pengujian kekerasan dilakukan pada Sembilan titik disetiap specimen, dengan rincian tiga titik pada *base metal*, tiga titik pada *HAZ* dan tiga titik pada *weld metal*.

### **Alat dan Bahan**

Alat dan bahan yang diperlukan untuk membuat specimen uji kekerasan adalah,

- Specimen hasil las
- Mesin Potong
- Gerinda
- Alat Penggores
- Jangka Sorong
- Alat Pelindung Diri
- Penggaris
- Cairan Etsa

### **Prosedur Pembuatan Specimen**

Dalam pembuatan specimen uji kekerasan ada beberapa langkah yang harus dilalui. Berikut langkah-langkah pembuatan specimen uji kekerasan,

- Memotong specimen menggunakan mesin potong hidrolik dengan ukuran yang sudah ditentukan.
- Merapikan potongan material menggunakan gerinda sehingga sesuai dengan ukuran yang sudah ditentukan



Gambar 4.26 Specimen Uji Kekerasan



- Haluskan permukaan specimen yang akan diuji menggunakan mesin poles.



Gambar 4.27 Spesimen Setelah dipoles

- Setelah diratakan dengan mesin poles selanjutnya material digosok dengan larutan etsa. Hal ini dilakukan supaya daerah base metal, HAZ dan weld metal terlihat dengan jelas sehingga memudahkan dalam proses pengujian.
- Setelah digosok dengan larutan etsa kemudian dibilas menggunakan air dan selanjutnya dikeringkan dengan mesin *hair dryer*.

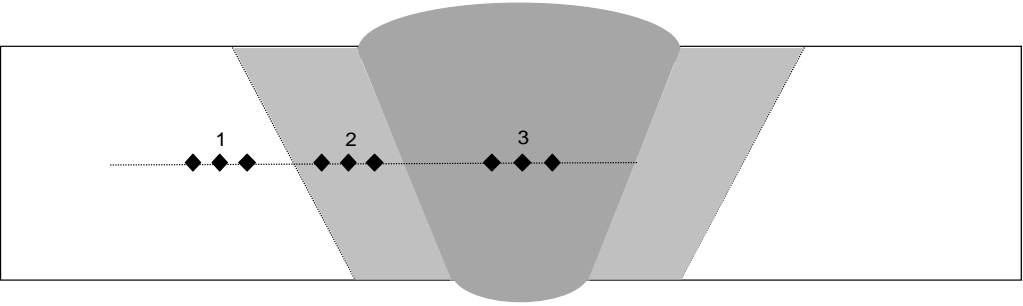
#### **Hasil Uji Kekerasan**

Hasil dari pengujian kekerasan yaitu berupa data tingkat kekerasan material pada suatu titik. Dalam uji kekerasan dilakukan pengambilan sampel sebanyak tiga titik pada setiap area yang diuji. Adapun langkah-langkah pengujian kekerasan adalah sebagai berikut.

- Letakkan specimen pada meja uji alat *Vickers*.
- Amati titik yang diuji menggunakan mikroskop pada alat.
- Setelah dipastikan sudah tepat maka proses pengujian dimulai, pada saat proses pengujian tunggu sampai keluar hasil pada monitor alat uji.
- Catat hasil pengujian.

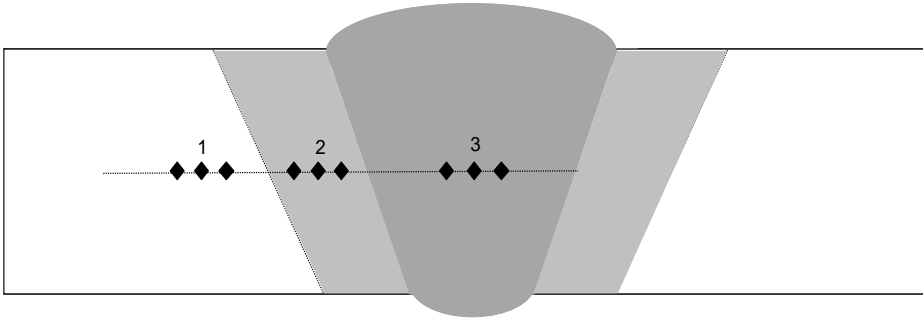
Data yang didapatkan dari hasil pengujian kekerasan adalah sebagai berikut,

Tabel 4.11 Data Hasil Uji Kekerasan Spesimen Tanpa *Preheating*

HARDNESS TEST									
									
Location	Vickers Hardness Number (HV. 10)								
	Base Metal			HAZ			Weld Metal		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Non	155.6	148.4	160.9	181.2	173.1	175.3	206.3	214.7	211.3
Average	154.9666667			176.5333333			210.7666667		

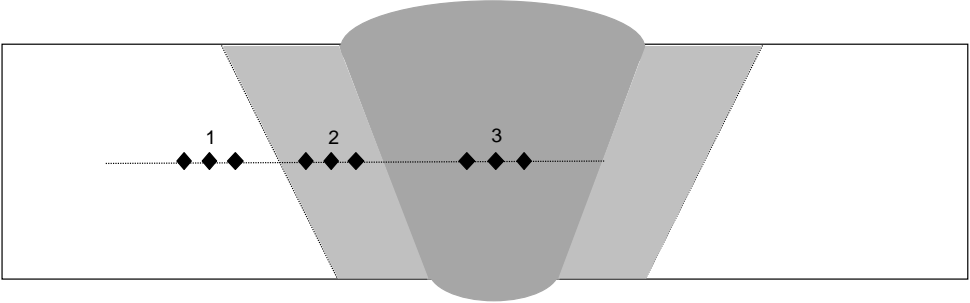
Data pada tabel 4.11 merupakan hasil dari uji kekerasan spesimen las tanpa diberikan perlakuan temperature *preheating*, Pada daerah *base metal*, *HAZ* dan *weld metal*. Setiap area diambil sampel sebanyak tiga titik sehingga setiap spesimen dilakukan pengujian sebanyak sembilan kali penekanan. Dari hasil pengujian diatas didapatkan rata-rata nilai nominal pada *base metal* 154.966 VHN, *HAZ* 176.522 VHN dan *weld metal* 210.766 VHN. Pada perlakuan ini area *base metal* dan *HAZ* memiliki nilai kekerasan yang paling lemah sedangkan pada *weld metal* memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi. Hal ini disebabkan karena tidak adanya perlakuan *preheating*, sehingga pada *base metal* dan *HAZ* memiliki sifat lebih lunak. Sedangkan pada *weld metal* memiliki sifat keras karena disebabkan oleh *heat input* yang tinggi karena di daerah sekitar gradien temperaturnya tinggi.

Tabel 4.12 Data Hasil Uji Kekerasan Spesimen Dengan *Preheating* 100°C

HARDNESS TEST									
									
Location	Vickers Hardness Number (HV. 10)								
	Base Metal			HAZ			Weld Metal		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
100°C	163.3	166.1	168.8	179.2	189.5	187.1	200.2	208.8	205.2
Average	166.066667			185.266667			204.733333		

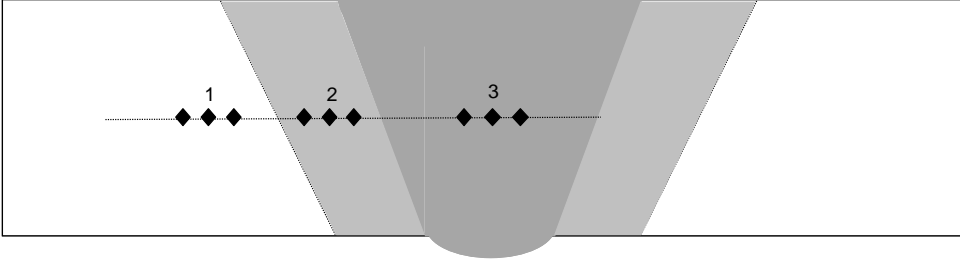
Data pada tabel 4.12 merupakan hasil dari uji kekerasan spesimen dengan diberikan perlakuan temperatur *pre heating* 100°C pada daerah *base metal*, *HAZ* dan *weld metal*. Setiap area diambil sampel sebanyak tiga titik sehingga setiap spesimen dilakukan pengujian sebanyak sembilan kali penekanan. Dari hasil pengujian diatas didapatkan rata-rata nilai nominal pada *base metal* 166.066 VHN, *HAZ* 185.266 VHN dan *weld metal* 204.733 VHN. Pada perlakuan ini area *base metal* dan *HAZ* memiliki tingkat kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan specimen yang tidak diberikan *preheating*, sedangkan tingkat kekerasan pada *weld metal* menurun. Hal ini disebabkan karena adanya perlakuan panas terhadap spesimen sehingga pada *base metal* dan *HAZ* menyebabkan terjadinya sifat lebih keras. Sedangkan pada *weld metal* sifat kekerasan menurun karena disebabkan oleh *heat input* yang berkurang karena di daerah sekitar sudah mengalami kenaikan temperatur.

Tabel 4.13 Data Hasil Uji Kekerasan Spesimen Dengan *Preheating* 200°C

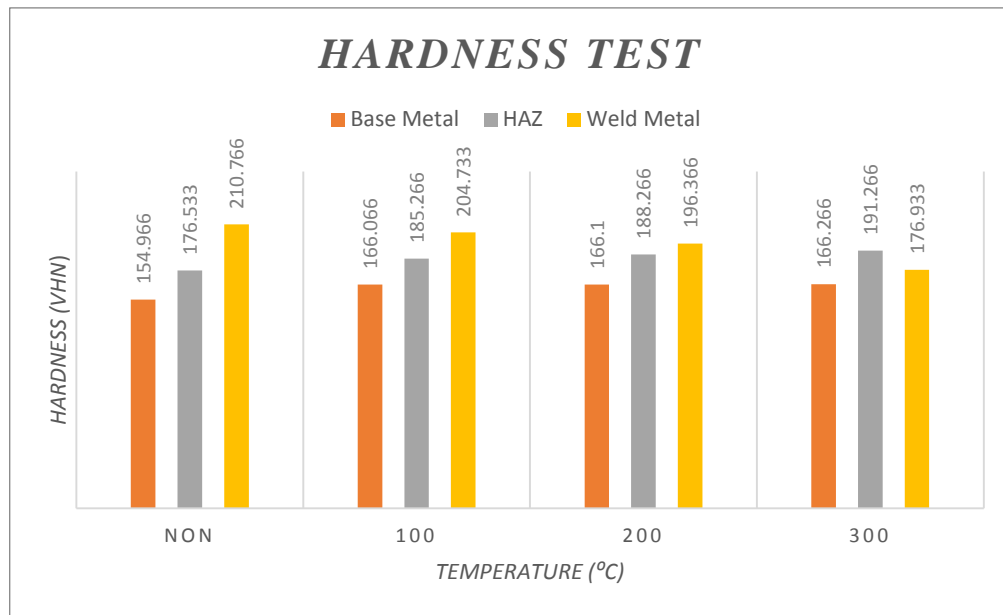
HARDNESS TEST									
									
Location	Vickers Hardness Number (HV. 10)								
	Base Metal			HAZ			Weld Metal		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
200°C	171.3	161.1	165.9	191.4	182.5	190.9	187.8	197.4	203.9
Average	166.1			188.266667			196.366667		

Data pada tabel 4.13 merupakan hasil dari uji kekerasan spesimen dengan perlakuan Temperatur *preheating* 200°C pada daerah *base metal*, *HAZ* dan *weld metal*. Setiap area diambil sampel sebanyak tiga titik sehingga setiap spesimen dilakukan pengujian sebanyak sembilan kali penekanan. Dari hasil pengujian diatas didapatkan rata-rata nilai nominal pada *base metal* 166.1 VHN, *HAZ* 188.266 VHN dan *weld metal* 196.366 VHN. Pada perlakuan ini area *base metal* dan *HAZ* memiliki tingkat kekerasan yang lebih tinggi meningkat dibandingkan dua perlakuan sebelumnya, sedangkan tingkat kekerasan pada *weld metal* semakin menurun. Hal ini disebabkan karena adanya perlakuan *preheating* yang lebih tinggi pada *base metal* dan *HAZ* sehingga menyebabkan terjadinya sifat lebih keras. Sedangkan pada *weld metal* sifat kekerasan menurun karena disebabkan oleh *heat input* yang semakin berkurang karena di daerah sekitar sudah mengalami kenaikan temperatur dan gradient temperatur semakin kecil.

Tabel 4.14 Data Hasil Uji Kekerasan Spesimen Dengan *Preheating* 300°C

HARDNESS TEST									
									
Location	Vickers Hardness Number (HV. 10)								
	Base Metal			HAZ			Weld Metal		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
300°C	177	164.1	157.7	187.6	190.7	195.5	176.1	180.7	174
Average	166.2666667			191.2666667			176.9333333		

Data pada tabel 4.14 merupakan hasil dari uji kekerasan spesimen dengan diberikan perlakuan temperatur *preheating* 300°C pada daerah *base metal*, *HAZ* dan *weld metal*. Setiap area diambil sampel sebanyak tiga titik penekanan sehingga setiap spesimen dilakukan pengujian sebanyak sembilan kali. Dari hasil pengujian diatas didapatkan rata-rata nilai nominal pada *base metal* 166.266 VHN, *HAZ* 191.266 VHN dan *weld metal* 176.933 VHN. Pada perlakuan ini *area base metal* dan *HAZ* memiliki tingkat kekerasan yang semakin tinggi dibandingkan semua perlakuan sebelumnya, sedangkan tingkat kekerasan pada *weld metal* semakin menurun. Hal ini disebabkan karena adanya perlakuan panas yang semakin tinggi pada *base metal* dan *HAZ* sehingga menyebabkan terjadinya sifat baja karbon semakin keras. Sedangkan pada *weld metal* sifat kekerasan menurun karena disebabkan oleh *heat input* dari mesin las yang semakin berkurang karena di daerah sekitar sudah mengalami kenaikan temperatur yang cukup tinggi sehingga gradient temperature semakin dekat.



Grafik 4.4 Hasil *Hardness Test*

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa perlakuan *preheating* memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik material khususnya sifat kekerasan. Material mengalami kenaikan nilai kekerasan pada *base metal* dan *HAZ* ini disebabkan oleh pengaruh panas yang diterima spesimen pada saat proses *preheating*, yang menyebabkan semakin panas suhu semakin keras pula spesimen yang diberi perlakuan. Sedangkan pada daerah *weld metal* semakin tinggi temperatur *preheating* yang diberikan maka semakin rendah nilai kekerasan pada logam. Ini disebabkan karena pada pada temperatur *preheating* yang diberikan semakin tinggi maka semakin kecil *heat input* yang diberikan oleh mesin las terhadap *weld metal*. Sehingga pada specimen yang diberikan perlakuan terperatur *preheating* paling tinggi yaitu 300°C area *weld metal* semakin lunak karena *heat input* dari mesin las semakin rendah karena pengaruh temperatur yang sudah tinggi.

#### 4.2.3.3 Uji Metalografi

Uji metalografi adalah suatu teknik atau metode pengujian material untuk mengetahui baik secara kuantitatif maupun kualitatif dari informasi-informasi yang terdapat dalam material yang dapat diamati, seperti fasa, butir, komposisi kimia, orientasi butir, jarak atom, dislokasi, topografi dan sebagainya untuk selanjutnya dilakukan analisis. Pada uji metalografi, secara umum ada dua hal yang akan dianalisis yaitu :

- a. Struktur makro adalah struktur dari logam yang terlihat secara makro pada permukaan specimen yang sudah di etsa setelah dipoles.
- b. struktur mikro adalah struktur dari permukaan logam yang terlihat hanya secara mikroskopik. Untuk mengamatinya harus melalui persiapan secara khusus dengan menggunakan mikroskop perbesaran minimum 25 kali.

### **Alat dan Bahan**

Adapun alat dan bahan yang diperlukan dalam uji metalografi adalah,

- Spesimen hasil las
- Mesin Potong
- Gerinda
- Alat Penggores
- Jangka Sorong
- Alat Pelindung Diri
- Penggaris
- Cairan Etsa
- Mikroskop elektronik

### **Prosedur Pembuatan Spesimen**

- Menyiapkan komponen yang akan di periksa
- Memotong bagian komponen menjadi spesimen kecil
- Menyiapkan bahan dan peralatan untuk keperluan mounting apabila diperlukan
- Menggerinda spesimen secara tahap dari grit kasar hingga halus (80, 200, 400, 800, 1000, 1500, dan 2000)
- Memoles spesimen poles makro dan poles mikro) dengan menggunakan pasta alumina
- Pengetsaan dengan menggunakan larutan kimia asam kuat  $\text{HNO}_3$  dan alkohol. Hal ini bertujuan untuk mengikis permukaan specimen uji yang akan diamati sehingga area base metal, HAZ dan weld metal dapat teridentifikasi dengan jelas
- Pemeriksaan dengan mikroskop



Gambar 4.28 Spesimen uji metalografi setelah dipoles

### Hasil Uji Metalografi

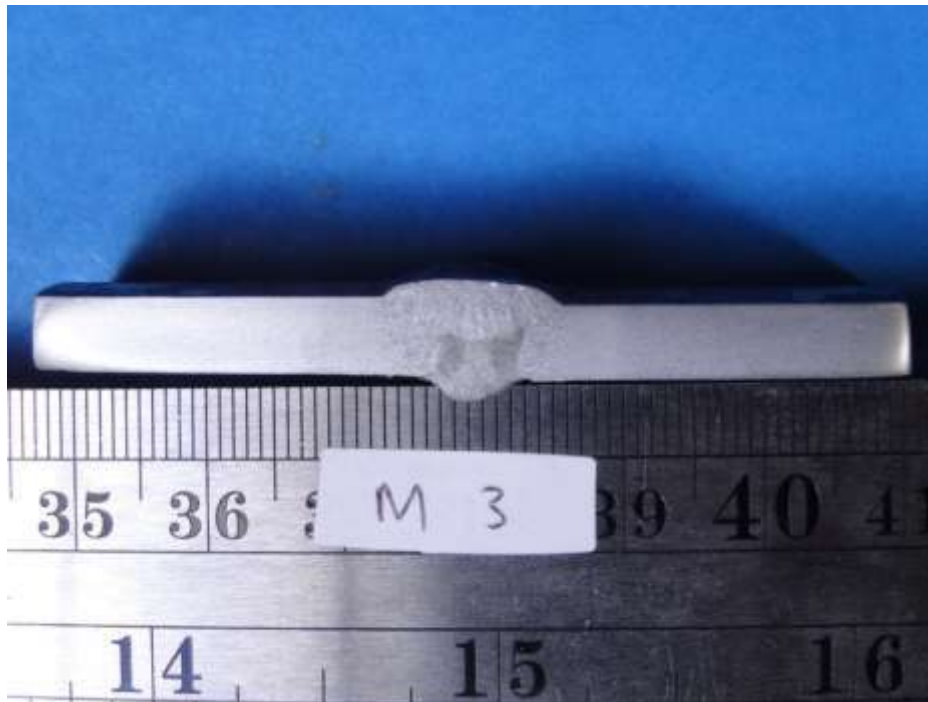
#### Analisa Struktur Makro

Pengujian makro bertujuan untuk mengetahui batas area *base metal*, *HAZ* dan *weld metal*. Dari hasil foto makro dapat diinterpretasi area yang terbentuk dari proses pengelasan. Area yang dapat diinterpretasi ialah *base metal*, bentuk *HAZ* dan lebar penetrasi *weld metal*. Dibawah ini merupakan hasil dari foto makro material las baja karbon sedang ASTM A53.



Gambar 4.29 Hasil Foto Makro Spesimen las tanpa *preheating*





Gambar 4.30 Hasil Foto Makro Spesimen Las dengan *preheating* 100°C

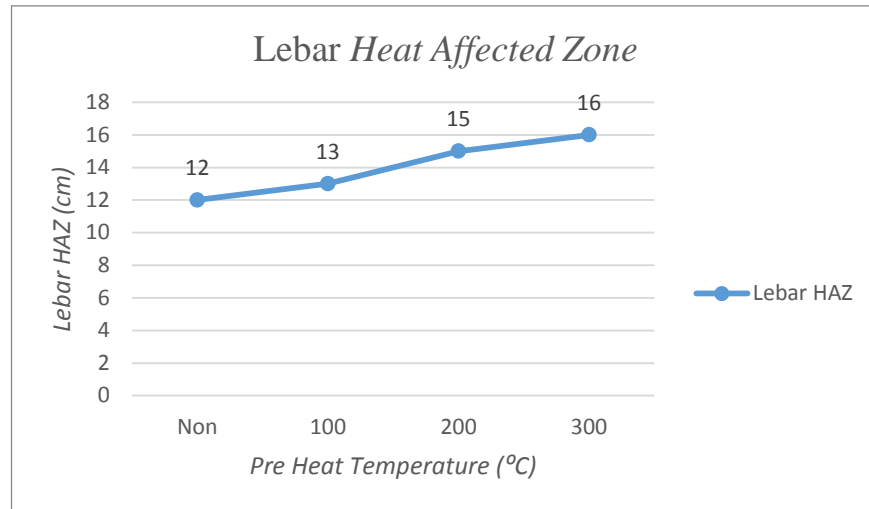


Gambar 4.31 Hasil Foto Makro Spesimen Las dengan *preheating* 200°C



Gambar 4.32 Hasil Foto Makro Spesimen Las dengan *preheating* 300°C

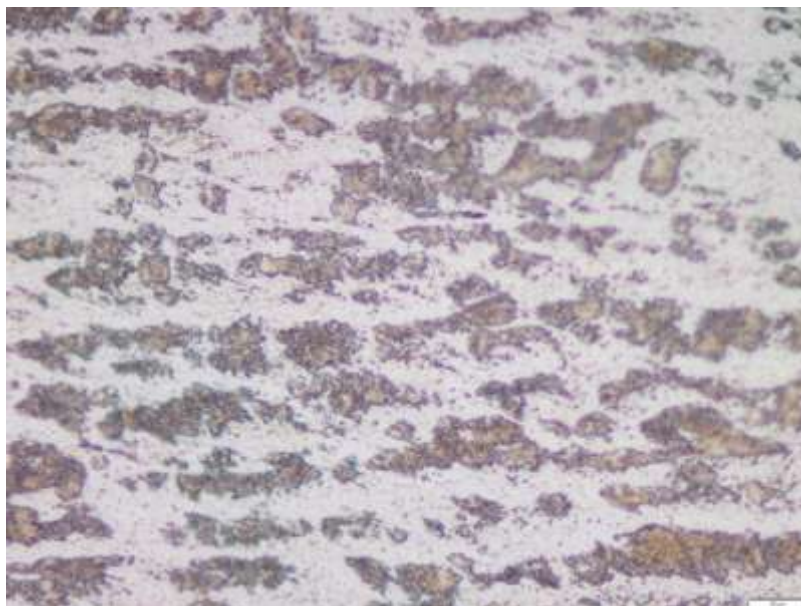
Hasil Foto makro spesimen pengelasan baja karbon sedang ASTM A53 dengan perlakuan tanpa *preheating*, dengan temperatur *preheating* 100°C, temperatur *preheating* 200°C dan temperatur *preheating* 300°C menunjukkan lebar area *base metal*, *HAZ* dan *weld metal* dari spesimen las. Secara visual dapat dilihat bahwa semakin besar perlakuan *preheating* yang diberikan semakin lebar pula area *HAZ* pengelasan, pada spesimen tanpa perlakuan *preheating* lebar *HAZ* adalah 12 mm, dengan perlakuan temperatur *preheating* 100°C lebar *HAZ* adalah 13 mm, dengan perlakuan dengan perlakuan temperatur *preheating* 200°C lebar *HAZ* adalah 15 mm, dengan perlakuan temperatur *preheating* 300°C lebar *HAZ* adalah 16 mm. Perbedaan luas area *HAZ* tersebut dipengaruhi oleh perlakuan *preheating* yang diberikan. Semakin tinggi temperatur *preheating* yang diberikan, penetrasi yang terjadi pada saat proses pengelasan semakin baik hal ini juga berpengaruh terhadap kekuatan material, dapat dilihat pada hasil analisis kekuatan tarik spesimen dengan perlakuan *preheating* 300°C mempunyai nilai *ultimate strength* yang paling tinggi.



Grafik 4.5 Lebar *Heat Affected Zone*

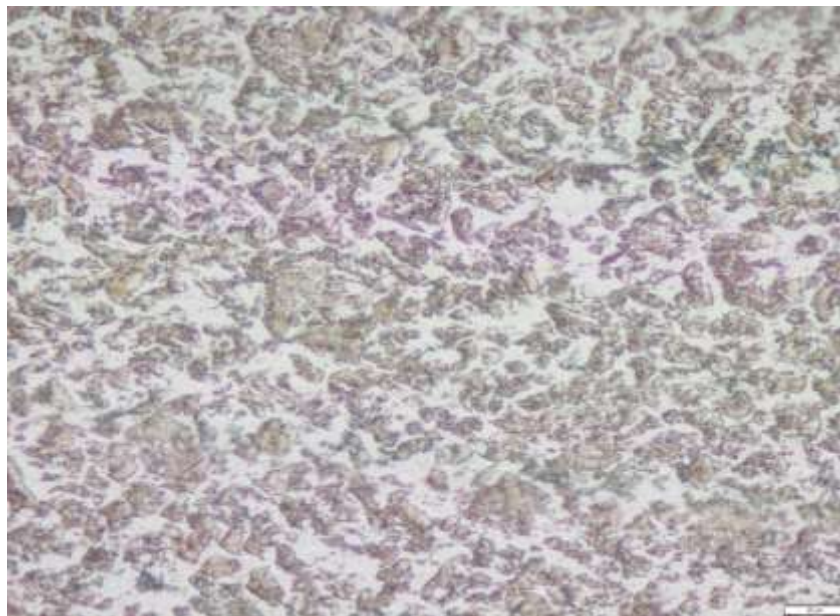
### Analisa Struktur Mikro

Pengujian mikro bertujuan untuk mengetahui struktur mikro setiap spesimen pada area *base metal*, *HAZ* dan *weld metal*. Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan mikroskop perbesaran 500 kali. Dari hasil foto mikro dapat dilihat fasa pada spesimen yang terdiri dari *ferrite* dan *pearlite*. *Ferrite* memiliki ciri-ciri area berwarna terang, sifat fasa *ferrite* cenderung ulet. *Pearlite* memiliki ciri-ciri berwarna gelap, sifat fasa *pearlite* cenderung keras. Perhitungan prosentase *ferrite* dan *pearlite* menggunakan metode *point counting*. Dibawah ini merupakan hasil dari foto mikro material las baja karbon sedang ASTM A53.



Gambar 4.33 Struktur Mikro *Base Metal* ASTM A53

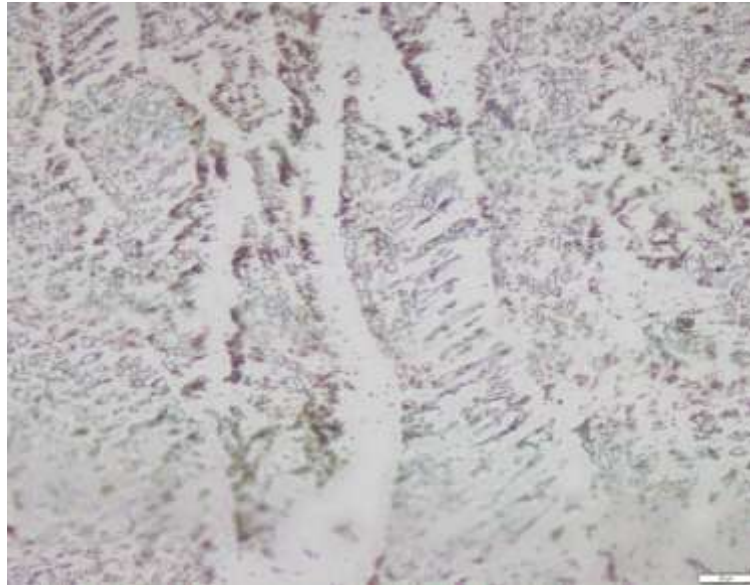
Gambar 4.33 menunjukkan struktur mikro material dasar specimen penelitian tugas akhir ini, yaitu baja karbon sedang ASTM A53. Berdasarkan dari hasil pengamatan menggunakan mikroskop perbesaran 500 kali, pada area logam induk dapat dilihat persebaran struktur *ferrite* dan *pearlite* merata dengan butiran-butiran yang cukup besar. Struktur fasa *ferrite* berwarna terang sedangkan struktur fasa *pearlite* berwarna gelap, material induk ASTM A53 memiliki kandungan prosentase struktur fasa *ferrite* 48 % dan fasa *pearlite* 52 %.



Gambar 4.34 Struktur Mikro HAZ las tanpa *preheating*

Dilihat dari gambar 4.34 HAZ pada pengelasan baja karbon sedang ASTM A53 tanpa diberikan perlakuan *preheating* memiliki struktur mikro yang jauh berbeda dengan daerah *basemetal*. Struktur fasa *ferrite* dan *pearlite* memiliki persebaran butiran yang lebih halus dan merata dan sangat jelas. Pada pengamatan mikrostruktur area HAZ dengan pengelasan tanpa perlakuan *preheating* struktur fasa *pearlite* prosentasenya meningkat, yaitu masing-masing fasa memiliki prosentase *ferrite* 33 % dan *pearlite* 67 %. Hal ini disebabkan karena pada area HAZ terpengaruh oleh panas dari *weld metal* yang berasal dari *heat input* pengelasan sehingga tingkat kekerasannya meningkat.





Gambar 4.35 Struktur Mikro *Weld Metal* las tanpa *pre heating*

Dilihat dari gambar 4.35 *weld metal* pada pengelasan baja karbon sedang ASTM A53 tanpa perlakuan *preheating* memiliki struktur mikro yang jauh berbeda dengan *base metal* dan *HAZ*. Struktur fasa *ferrite* dan fasa *pearlite* memiliki bentuk yang halus namun persebarannya tidak merata. Pada pengamatan struktur mikro *weld metal* pengelasan baja karbon sedang ASTM A53 tanpa perlakuan *pre heating* masing-masing struktur fasa memiliki prosentase berikut, *ferrite* 35 % dan *pearlite* 65 %. Hal ini terjadi karena heat input pada pengelasan yang tinggi sehingga kadar fasa *pearlite* menjadi lebih tinggi dibandingkan *ferrite*.



Gambar 4.36 Struktur Mikro *HAZ* las dengan *preheating* 100°C

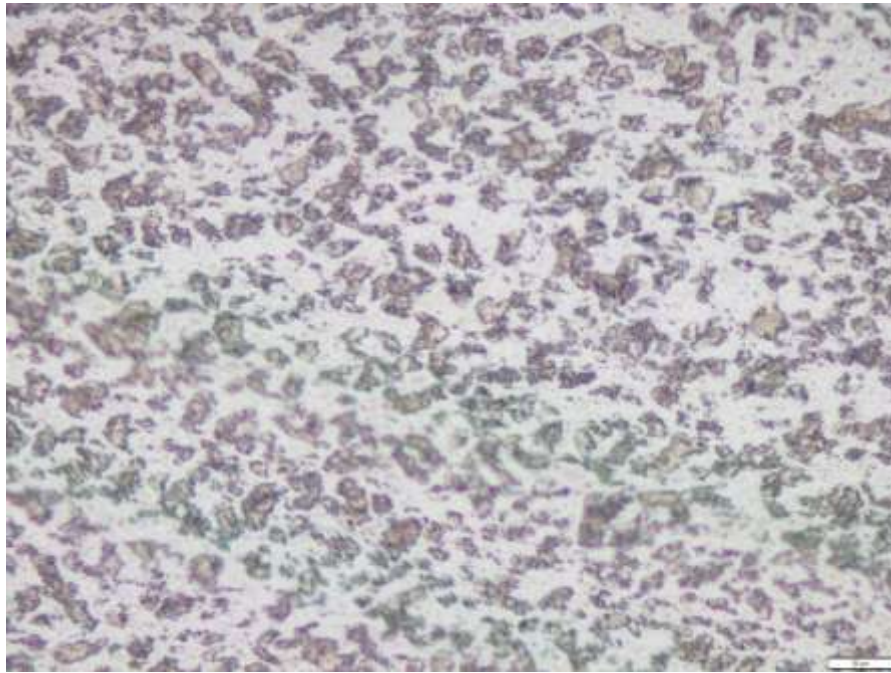
Dilihat dari gambar 4.36 struktur mikro pada area *HAZ* pada pengelasan baja karbon sedang ASTM A53 dengan perlakuan *preheating* temperatur 100°C memiliki struktur yang berbeda dengan *HAZ* pada pengelasan tanpa diberikan perlakuan *preheating*. Struktur fasa *ferrite* dan fasa *pearlite* memiliki persebaran yang lebih halus dan lebih merata. Pada pengamatan *HAZ* pengelasan dengan perlakuan temperatur *preheating* 100°C struktur fasa *pearlite* prosentasenya meningkat, yaitu masing-masing fasa memiliki prosentase *ferrite* 31 % dan *pearlite* 69 %. Hal ini disebabkan karena sebelum pengelasan sudah dilakukan perlakuan *preheating* terhadap specimen, sehingga *HAZ* mendapatkan pengaruh panas dari *preheating* yang sudah dilakukan dan *heat input* dari mesin las pada saat pengelasan berlangsung.



Gambar 4.37 Struktur Mikro *Weld Metal* las dengan *preheating* 100°C

Dilihat dari gambar 4.37 *weld metal* pada pengelasan baja karbon sedang ASTM A53 dengan perlakuan temperatur *preheating* 100°C memiliki struktur mikro yang jauh berbeda dengan *base metal* dan *HAZ* namun tidak jauh berbeda dengan *weld metal* pada pengelasan tanpa diberikan perlakuan *preheating*. Struktur fasa *ferrite* dan fasa *pearlite* memiliki bentuk yang semakin halus namun persebarannya tidak merata. Pada pengamatan struktur mikro *weld metal* pengelasan baja karbon sedang ASTM A53 dengan perlakuan temperatur *preheating* 100°C masing-masing struktur fasa memiliki prosentase sebagai

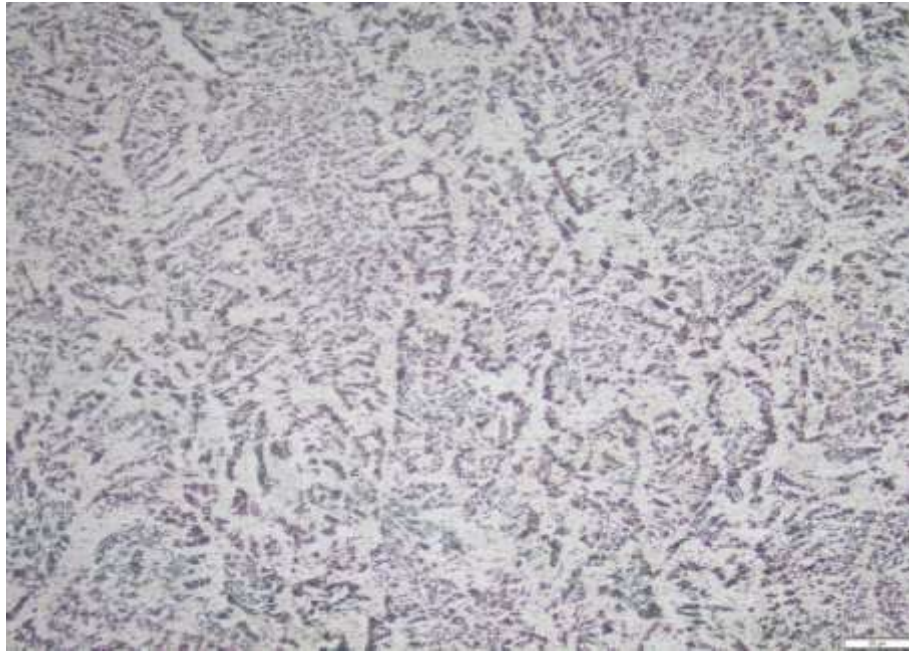
berikut, fasa *ferrite* 37 % dan fasa *pearlite* 63 %. Prosentase fasa *pearlite* menurun dibandingkan dari pengelasan tanpa *preheating*. Ini disebabkan karena sebelum pengelasan sudah dilakukan perlakuan *preheating* sehingga gradien temperatur antara spesiman dan logam las berkurang. Dengan berkurangnya temperatur maka *heat input* pada pengelasan tidak setinggi pada pengelasan tanpa *preheating*, hal ini menyebabkan fasa *pearlite* yang terbentuk tidak sebanyak pengelasan tanpa *preheating*.



Gambar 4.38 Struktur Mikro HAZ las dengan *preheating* 200°C

Dilihat dari gambar 4.38 HAZ pada pengelasan baja karbon sedang ASTM A53 dengan perlakuan temperatur *preheating* 200°C memiliki struktur mikro yang berbeda dengan HAZ pada pengelasan tanpa perlakuan *preheating* maupun dengan temperatur *preheating* 100°C. Struktur fasa *ferrite* dan *pearlite* memiliki persebaran yang terlihat cenderung lebih jelas dan merata. Pada pengamatan HAZ pengelasan dengan perlakuan temperatur *preheating* 200°C struktur fasa *pearlite* prosentasenya meningkat, yaitu masing-masing fasa memiliki prosentase fasa *ferrite* 30 % dan fasa *pearlite* 70 %. Meningkatnya fasa *pearlite* dari dua pengelasan sebelumnya disebabkan karena perlakuan temperatur *preheating* yang diberikan semakin tinggi sehingga area HAZ terkena dampak yang mengakibatkan meningkatnya fasa *pearlite*.

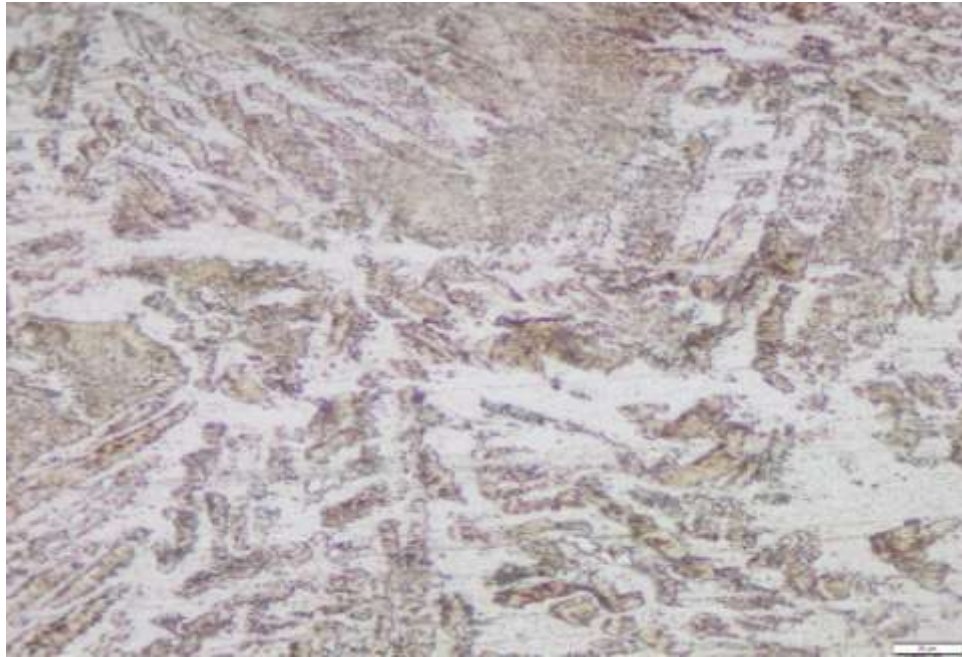




Gambar 4.39 Struktur Mikro *Weld Metal* las dengan *preheating* 200°C

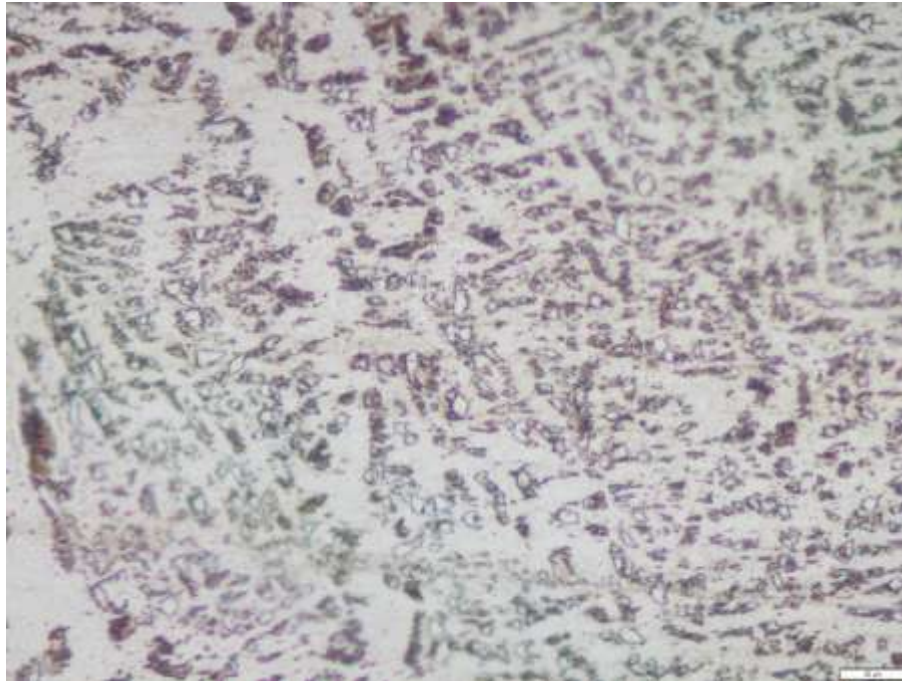
Dilihat dari hasil pengamatan gambar 4.39 *weld metal* pada pengelasan baja karbon sedang ASTM A53 dengan perlakuan temperatur *preheating* 100°C memiliki struktur mikro yang berbeda dengan *base metal* dan *HAZ* namun pada *weld metal* masih ada kesamaan tekstur dari pengelasan tanpa *preheating* ataupun dengan perlakuan *preheating* 100°C. Struktur fasa *ferrite* dan fasa *pearlite* memiliki bentuk yang cukup halus dan persebarannya merata. Pada pengamatan struktur mikro *weld metal* pengelasan baja karbon sedang ASTM A53 dengan perlakuan temperatur *preheating* 200°C masing-masing struktur fasa memiliki prosentase berikut, fasa *ferrite* 39 % dan fasa *pearlite* 61 %. Hal berikut terjadi karena heat input pada proses pengelasan yang tidak setinggi dari pengelasan tanpa perlakuan *preheating* ataupun dengan perlakuan temperatur *preheating* 100°C. Hal ini yang menyebabkan fasa *pearlite* yang terbentuk tidak terlalu banyak dibandingkan dari pengelasan sebelumnya, ini terjadi karena perlakuan temperatur *preheating* yang diberikan sebelum pengelasan dilakukan lebih tinggi dari proses pengelasan yang sudah dilakukan sebelumnya.





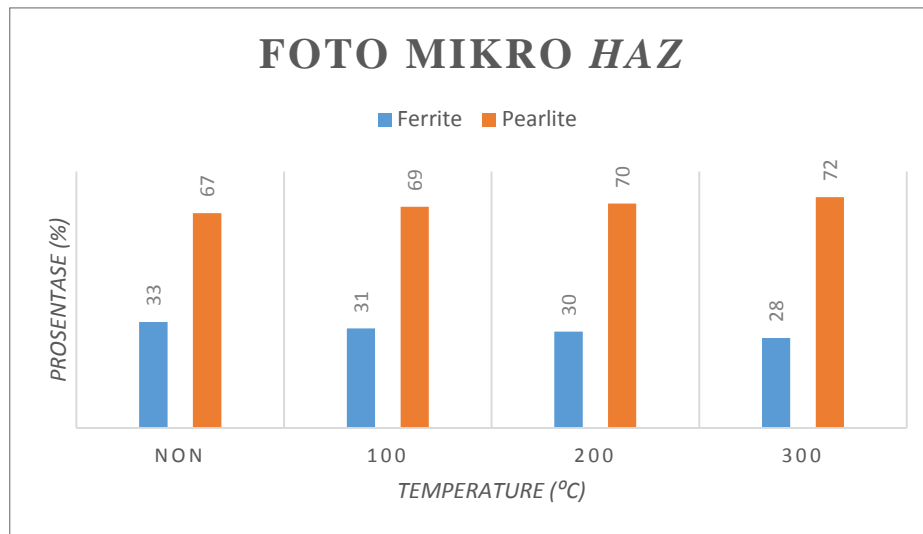
Gambar 4.40 Struktur Mikro *HAZ* las dengan *preheating* 300°C

Dilihat dari gambar 4.40 *HAZ* pada pengelasan baja karbon sedang ASTM A53 dengan perlakuan temperatur *preheating* 300°C memiliki struktur mikro yang berbeda dengan *HAZ* pada pengelasan tanpa perlakuan *preheating*, dengan perlakuan temperatur *preheating* 100°C ataupun dengan perlakuan temperatur *preheating* 200°C. Struktur fasa *ferrite* dan fasa *pearlite* memiliki persebaran yang cenderung lebih jelas, kasar dan tidak merata. Pada pengamatan *HAZ* pengelasan dengan perlakuan *preheating* 300°C struktur fasa *pearlite* prosentasenya meningkat, yaitu masing-masing fasa memiliki prosentase fasa *ferrite* 28 % dan fasa *pearlite* 72 %. Meningkatnya fasa *pearlite* disebabkan karena pengaruh perlakuan temperatur *preheating* yang diberikan semakin tinggi ditambah lagi adanya pengaruh panas dari *heat input* yang dihasilkan mesin las pada saat proses pengelasan berlangsung sehingga memicu terbentuknya fasa *pearlite* yang semakin tinggi pada daerah *HAZ*.

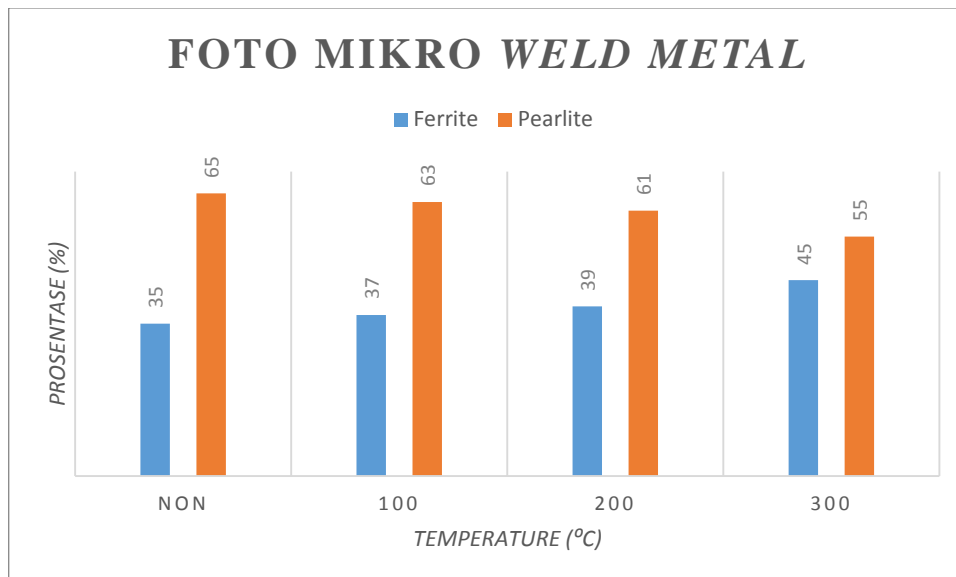


Gambar 4.41 Struktur Mikro *Weld Metal* las dengan *preheating* 300°C

Dilihat dari gambar 4.41 *weld metal* pada pengelasan baja karbon sedang ASTM A53 dengan perlakuan temperatur *preheating* 300°C memiliki struktur mikro yang berbeda dengan *base metal* dan *HAZ* dari pengelasan dengan perlakuan yang sudah dijelaskan sebelumnya namun tekstur pada *weld metal* masih terdapat kesamaan. Struktur fasa *ferrite* dan fasa *pearlite* memiliki bentuk yang sedikit kasar dan persebarannya cenderung merata. Pada pengamatan struktur mikro *weld metal* pengelasan baja karbon sedang ASTM A53 dengan perlakuan temperatur *preheating* 300°C masing-masing struktur fasa memiliki prosentase berikut, fasa *ferrite* 45 % dan fasa *pearlite* 55 %. Hal tersebut terjadi karena temperatur *preheating* yang diberikan paling tinggi dari semua pengelasan yang sudah dilakukan. Dampak yang terjadi adalah *heat input* yang terjadi pada saat proses pengelasan tidak setinggi pada pengelasan yang sudah dilakukan, ini menyebabkan fasa *pearlite* yang terbentuk tidak sebanyak dari semua pengelasan yang sudah dilakukan.



Grafik 4.6 Prosentase Ferrite dan Pearlite pada *HAZ*



Grafik 4.7 Prosentase *Ferrite* dan *Pearlite* pada *Weld Metal*

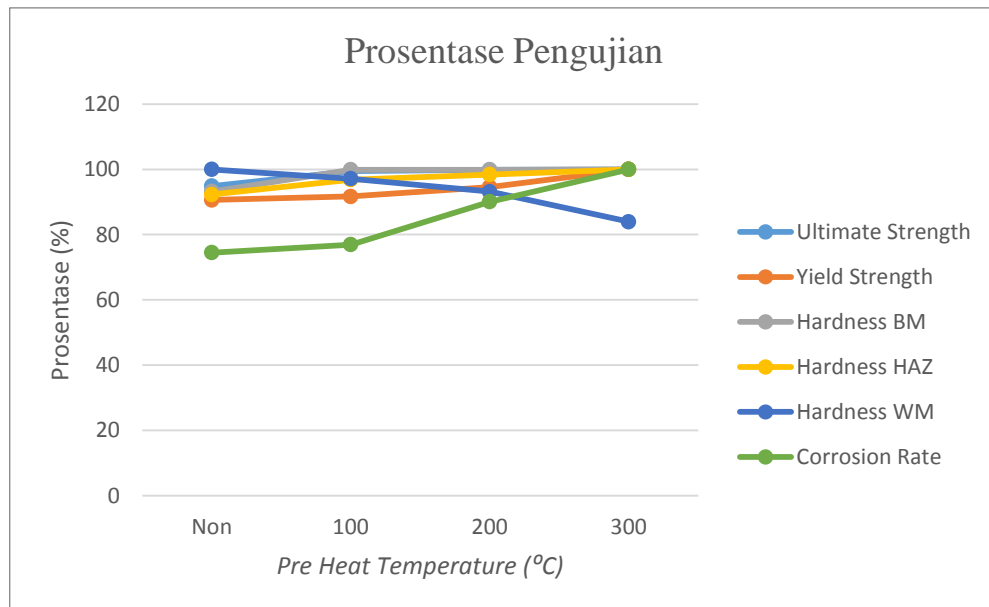
Dari grafik 4.6 dan 4.7 dapat disimpulkan bahwa perlakuan *preheating* memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik material khususnya kandungan fasa *ferrite* dan fasa *pearlite*. Pada *HAZ* semakin tinggi temperatur *preheating* yang diberikan semakin tinggi pula kandungan *pearlite*, ini disebabkan karena pengaruh temperatur panas dari *preheating* dan dari *heat input* saat proses pengelasan sehingga terbentuk daerah *HAZ* yang semakin keras dan mengandung fasa *pearlite*. Pada *Weld Metal* semakin tinggi temperatur *preheating* yang diberikan semakin rendah kandungan *pearlite*, ini disebabkan karena semakin

tinggi temperatur *preheating* semakin rendah *heat input* pada saat proses pengelasan sehingga fasa *pearlite* yang terbentuk semakin rendah.

#### 4.3 Analisis Temperatur *Preheating* Paling Optimal

Tabel 4.15 Prosentase Pengujian

Test Piece	Non	100 <sup>0</sup> C	200 <sup>0</sup> C	300 <sup>0</sup> C
% Ultimate	94.866707	99.437236	99.864868	100
% Yield	90.622499	91.674087	94.593285	100
% Vic BM	93.203662	99.879711	99.90016	100
% Vic HAZ	92.297115	96.863008	98.431504	100
% Vic WM	100	97.137584	93.167778	83.9476007
% Korosi	74.470577	76.915195	90.060506	100



Grafik 4.8 Prosentase Pengujian

Dari pengujian yang sudah dilakukan maka didapatkan prosentase perlakuan *preheating* paling optimal dari pengelasan baja karbon sedang ASTM A53. Dari hasil uji kekuatan tarik, uji kekerasan spesimen dan uji laju korosi pada lingkungan laut didapatkan prosentase pengujian seperti pada grafik 4.8. Berdasarkan grafik 4.8 tidak semua pengujian hasilnya linear. Pada laju korosi tentu hasilnya pada tabel akan bertolak belakang dengan hasil uji mekanik. Merujuk pada grafik 4.8 maka dapat ditentukan perlakuan *preheating* yang terbaik untuk pengelasan baja karbon sedang ASTM A53 adalah temperatur 200<sup>0</sup>C.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tugas akhir dengan judul “Alalisis Pengaruh Suhu *Preheating* Pada Pengelasan Baja Karbon Sedang (ASTM A53) Terhadap Sifat Mekanik dan Ketahanan Korosi *Weld Joint* Pada Lingkungan Laut” dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil uji mekanik yaitu kekuatan tarik dan kekerasan didapatkan spesimen tanpa *preheating* memiliki nilai rata-rata kekuatan tarik paling rendah 554.05 MPa, spesimen yang diberikan *pre heating* 300<sup>0</sup>C memiliki nilai rata-rata kekuatan tarik paling tinggi yaitu 584.615 MPa, Hasil pengujian kekerasan didapatkan specimen yang memiliki nilai kekerasan paling tinggi pada area *base metal* dan *HAZ*, memiliki nilai kekerasan yang terendah pada area *weld metal* dan Hasil pengujian Ketahanan *weld joint* terhadap korosi di lingkungan laut menggunakan metode polarisasi sel tiga elektroda didapatkan hasil spesimen tanpa diberikan perlakuan *preheating* memiliki nilai laju korosi paling rendah yaitu 0.15262 mm/year dan spesimen yang diberikan perlakuan *preheating* 300<sup>0</sup>C memiliki nilai laju korosi paling tinggi yaitu 0.20494 mm/year.
2. Hasil pengujian foto makro lasan baja karbon sedang ASTM A53 menunjukkan hasil Semakin Tinggi temperatur *preheating* yang diberikan semakin lebar pula area *HAZ*. Hasil pengujian foto mikro pada lasan baja karbon sedang ASTM A53 menunjukkan hasil bahwa spesimen yang memiliki prosentase pearlite paling tinggi pada area *base metal* dan *HAZ*, namun memiliki prosentase yang terendah pada area *weld metal*, ini disebabkan oleh temperatur *preheating* yang semakin tinggi semakin kecil *heat input* yang diberikan oleh mesin las terhadap *weld metal*.
3. Dari hasil rangkaian pengujian yang sudah dilakukan dan setelah dilakukan pengolahan data maka dapat ditentukan perlakuan pemberian temperatur *preheating* yang paling tepat untuk pengelasan baja karbon sedang ASTM A53 adalah temperatur 200<sup>0</sup>C.

## 2.2 Saran

Dalam penelitian tugas akhir tentu ada hal-hal yang perlu disempurnakan. Hal tersebut bertujuan untuk membangun agar penelitian lebih lengkap. Berikut saran-saran kepada peneliti selanjutnya,

1. Dalam proses pengelasan baja karbon selain perlakuan *preheating* ada juga perlakuan *post weld heat treatment*. Namun pada penelitian tugas akhir ini belum dilakukan proses *post weld heat treatment*. Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan mengenai perlakuan *post weld heat treatment* pada pengelasan baja karbon sedang agar penelitian lebih lengkap.
2. Pada penelitian selanjutnya variasi perbandingan material baja karbon bisa dilakukan untuk melihat seberapa besar pengaruh *heat treatment* terhadap berbagai jenis material baja karbon.
3. Analisis pengujian kekuatan yang lebih lengkap supaya lebih menambah variabel penelitian sehingga penelitian lebih sempurna.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alip, M. 1989. *Teori Dan Praktik Las*. Departemen Pendidikan Dan Kebudayaan.
- ASM Handbook Vol 9. 2004. *Metallography and Microstructures*, ASM Handbook Committee, United State
- ASME Sec IX, 1995. *Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators*, ASME, New York.
- ASTM, 1994. *Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements*, ASTM Standard, Vol. G-102.
- ASTM, 1997. *Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*. ASTM Standard, Vol E 92-82
- ASTM. 2004. *Metals\_Mechanical Testing\_ Elevated and Low-Temperature Tests\_ Metallograph*, Annual Book of ASTM Standard, Vol. 03.01, E-8M.
- AWS, 2000. *Structural Welding Code Steel*, AWS Standard, Vol. D1.1.
- Bintoro, G.A. 2000. *Dasar-Dasar Pekerjaan Las*. Kanisius. Yogyakarta.
- Febrianto, dkk. 2000. “*Analisis Korosi Material Tangki Reaktor Triaga Mark II Bandung*”. Prosiding Presentasi Ilmiah Teknologi Keselamatan Nuklir-V, Serpong, 28 Juni 2000.
- Fontana, Mars.G., 1978, *Corrosion Engineering*, McGraw-Hill, Inc.
- Groover, Mikell P. 1996. *Fundamental Of Modern Manufacturing, Material, Proses And System*. Penerbit Prentice-Hall Inc. USA.
- Muvidah, Umi. 2004. Tugas Akhir. *Pengaruh Jenis Proses Las dan Salinitas Terhadap Sifat Mekanik Weld Joint Material Baja Pada Underwater Welding di Lingkungan Laut*. ITS. Surabaya.
- Pratikno, Herman. 2010. *Pengaruh Jenis Proses Las FCAW/SMAW dan Salinitas Terhadap Sifat Mekanik Weld Joint Material Baja Pada Underwater Welding di Lingkungan Laut*. ITS. Surabaya.
- Suratman, D. 1994. *Panduan Proses Perlakuan Panas*. Lembaga penelitian ITB. Bandung.

- Trethewey, Kenneth R. and Chamberlain, John. 1991. *KOROSI: Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Usemansano. 2010. *Korosi dan Cara Pencegahannya*. <http://kimia123sma.wordpress.com/2010/04/20/korosi-dan-cara-pencegahannya/>.
- Wirjosumarto, H Dan Okumura, T. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Cetakan Ke 8. Pradnya Paramita. Jakarta.
- [www.amerpipe.com/products/carbon-pipe/a53/a53-specifications/](http://www.amerpipe.com/products/carbon-pipe/a53/a53-specifications/)
- [www.astm.org/Standards/A53.htm](http://www.astm.org/Standards/A53.htm)
- [www.fedsteel.com/products/carbon-pipe-and-tube/astm-a53-pipe.html](http://www.fedsteel.com/products/carbon-pipe-and-tube/astm-a53-pipe.html)
- [www.hima-tl.ppns.ac.id](http://www.hima-tl.ppns.ac.id)
- [www.indotrading.com/kabel-las\\_4354/](http://www.indotrading.com/kabel-las_4354/)
- [www.mesinunila.org/2015/03/macam-macam-mesin-las-listrik.html](http://www.mesinunila.org/2015/03/macam-macam-mesin-las-listrik.html)
- [www.wikipedia.org/wiki/ASTM\\_A53](http://www.wikipedia.org/wiki/ASTM_A53)



## BIODATA PENULIS



Hasri Palgunadhi lahir di satu kota kecil yang terletak di Jawa Tengah yaitu Salatiga pada tanggal 13 Agustus 1995, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menyelesaikan pendidikan formal di TK Sultan Fattah Salatiga, SDN 6 Salatiga, SMP Negeri 1 Salatiga, dan SMA Negeri 1 Salatiga. Setelah tamat SMA pada tahun 2013, penulis mengikuti program Seleksi Nasional Mahasiswa Perguruan Tinggi Negeri dan diterima di jurusan Teknik Kelautan FTK – ITS dan terdaftar dengan NRP. 4311100002. Selain aktif dalam kuliah penulis juga ikut serta dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan sebagai anggota, penulis juga bergabung dalam organisasi ekstra kampus Himpunan Mahasiswa Islam sebagai kepala departemen Perguruan Tinggi dan Kemahasiswaan, penulis juga ikut bergabung menjadi pengurus Lembaga Teknologi Mahasiswa Islam sebagai direktur bidang Pendidikan dan Pelatihan. Pada bulan Juli hingga September 2016, penulis berkesempatan Kerja Praktek di PT Alstom Power ESI (General Electric) Surabaya, dalam kerja praktek penulis memperoleh banyak pengetahuan tentang dunia piping engineering. Dalam tugas akhir ini penulis mengambil bidang material dan produksi, dengan kajian mengenai studi pengaruh preheating pada pengelasan baja karbon terhadap sifat mekanik dan ketahanan korosi pada lingkungan laut.

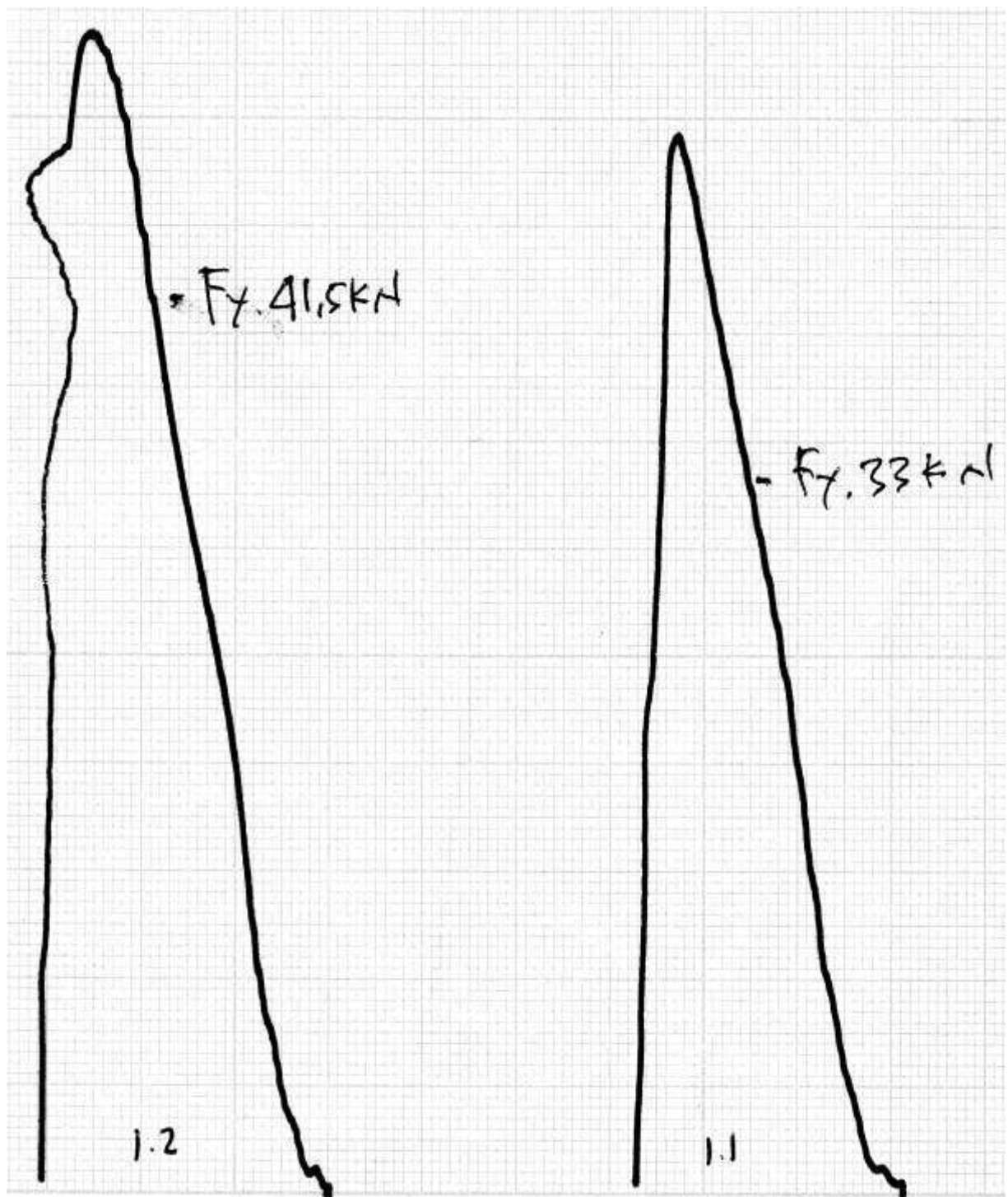
### Kontak Penulis

*Email* : hpalgunadhi@gmail.com

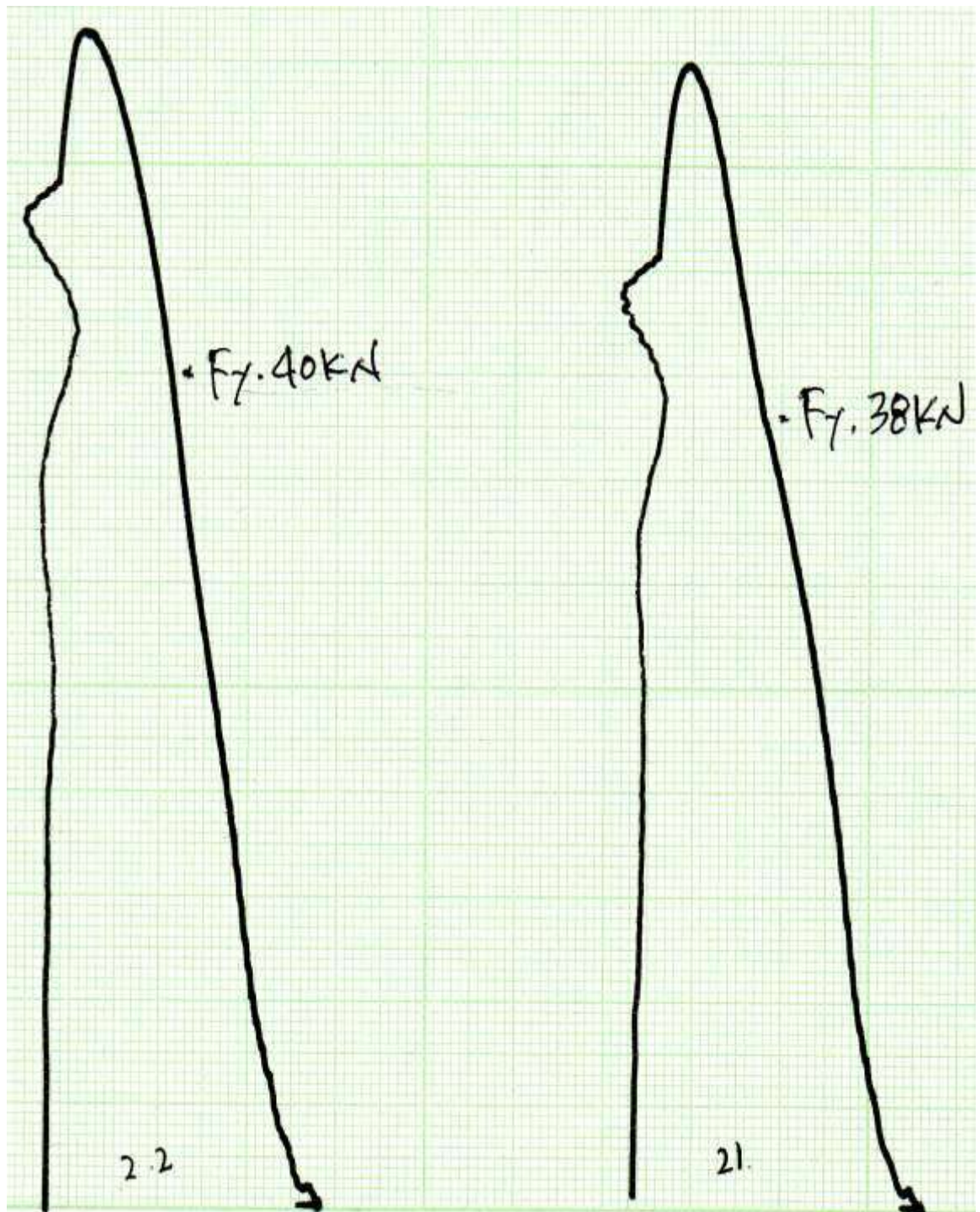
No. HP : 085707361888

# **LAMPIRAN 1**

## **Hasil Hitungan dan Tabel Pengujian**

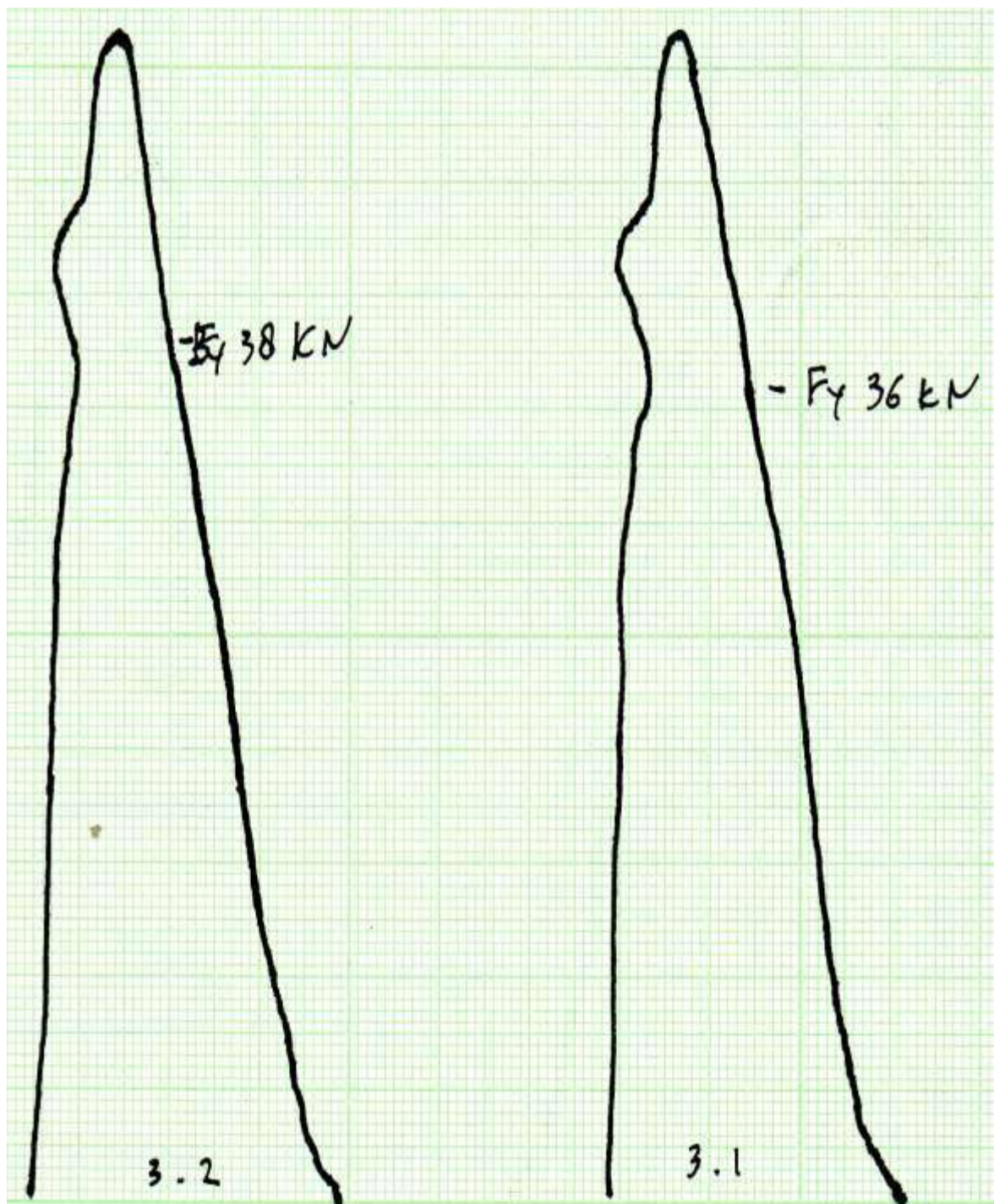


Grafik Hasil Uji Tarik Spesimen Las Non *Preheating*

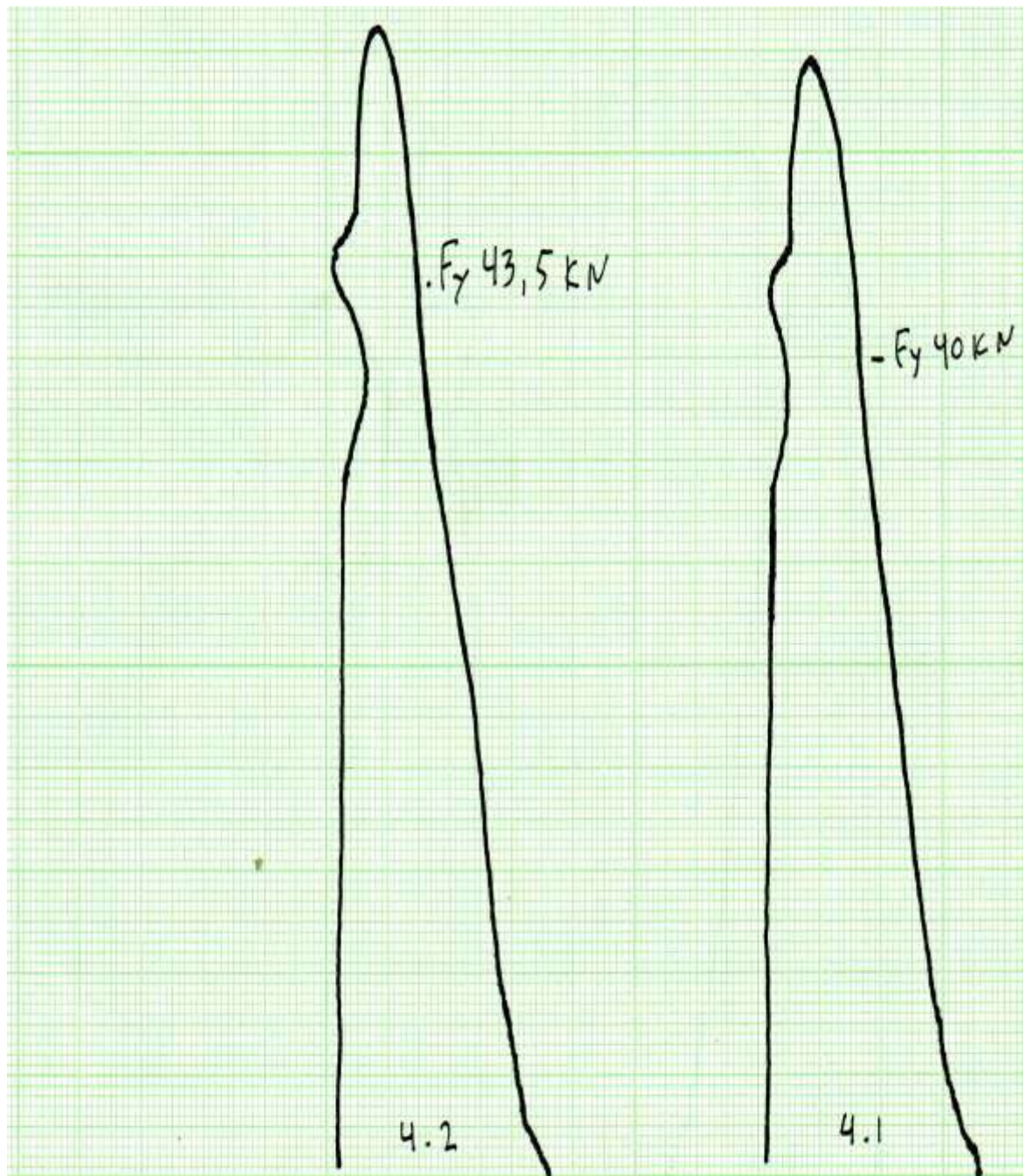


**Grafik Hasil Uji Tarik Spesimen Las Preheating 100°C**





Grafik Hasil Uji Tarik Spesimen Las Preheating 200°C



**Grafik Hasil Uji Tarik Spesimen Las Preheating 300°C**

### Perhitungan Yield Strength dan Ultimate Strength

Dari grafik hasil uji tarik dapat diketahui bahwa spesimen 1.1 memiliki :

- Tegangan luluh ( $F_y$ ) : 33 KN
- Tegangan ultimate ( $F_u$ ) : 49 KN

Maka dapat dapat dihitung nilai yield strength dan ultimate strength sebagai berikut :

a.  $\sigma_y$  (Yield Strength)

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0} \text{ N/mm}$$

$$\sigma_y = \frac{33}{96.19} \times 1000$$

$$\sigma_y = 343.071 \text{ MPa}$$

b.  $\sigma_{ult}$  (Ultimate Strength)

$$\sigma_y = \frac{F_{ult}}{A_0} \text{ N/mm}$$

$$\sigma_y = \frac{49}{96.19} \times 1000$$

$$\sigma_y = 509.4085 \text{ MPa}$$

Dari grafik hasil uji tarik dapat diketahui bahwa spesimen 1.2 memiliki :

- Tegangan luluh ( $F_y$ ) : 41.5 KN
- Tegangan ultimate ( $F_u$ ) : 54 KN

Maka dapat dapat dihitung nilai yield strength dan ultimate strength sebagai berikut :

a.  $\sigma_y$  (Yield Strength)

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0} \text{ N/mm}$$

$$\sigma_y = \frac{41.5}{90.03} \times 1000$$

$$\sigma_y = 460.9575 \text{ MPa}$$

b.  $\sigma_{ult}$  (Ultimate Strength)

$$\sigma_y = \frac{F_{ult}}{A_0} \text{ N/mm}$$

$$\sigma_y = \frac{54}{90.03} \times 1000$$

$$\sigma_y = 599.8001 \text{ MPa}$$

Dari grafik hasil uji tarik dapat diketahui bahwa spesimen 2.1 memiliki :

- Tegangan luluh ( $F_y$ ) : 38 KN

- Tegangan ultimate ( $F_u$ ) : 55 KN

Maka dapat dapat dihitung nilai yield strength dan ultimate strength sebagai berikut :

a.  $\sigma_y$  (Yield Strength)

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0} N/mm$$

$$\sigma_y = \frac{38}{96.12} \times 1000$$

$$\sigma_y = 395.3392 MPa$$

b.  $\sigma_{ult}$  (Ultimate Strength)

$$\sigma_y = \frac{F_{ult}}{A_0} N/mm$$

$$\sigma_y = \frac{55}{96.12} \times 1000$$

$$\sigma_y = 572.2014 MPa$$

Dari grafik hasil uji tarik dapat diketahui bahwa spesimen 2.2 memiliki :

- Tegangan luluh ( $F_y$ ) : 40 KN

- Tegangan ultimate ( $F_u$ ) : 56.5 KN

Maka dapat dapat dihitung nilai yield strength dan ultimate strength sebagai berikut :

a.  $\sigma_y$  (Yield Strength)

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0} N/mm$$

$$\sigma_y = \frac{40}{95.69} \times 1000$$

$$\sigma_y = 418.0165 MPa$$

b.  $\sigma_{ult}$  (Ultimate Strength)

$$\sigma_y = \frac{F_{ult}}{A_0} N/mm$$

$$\sigma_y = \frac{56.5}{95.69} \times 1000$$

$$\sigma_y = 590.4483 MPa$$



Dari grafik hasil uji tarik dapat diketahui bahwa spesimen 3.1 memiliki :

- Tegangan luluh ( $F_y$ ) : 36 KN
- Tegangan ultimate ( $F_u$ ) : 51.5 KN

Maka dapat dapat dihitung nilai yield strength dan ultimate strength sebagai berikut :

a.  $\sigma_y$  (Yield Strength)

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0} N/mm$$

$$\sigma_y = \frac{36}{89.69} \times 1000$$

$$\sigma_y = 401.3825 MPa$$

b.  $\sigma_{ult}$  (Ultimate Strength)

$$\sigma_y = \frac{F_{ult}}{A_0} N/mm$$

$$\sigma_y = \frac{51.5}{89.69} \times 1000$$

$$\sigma_y = 574.2 MPa$$

Dari grafik hasil uji tarik dapat diketahui bahwa spesimen 3.2 memiliki :

- Tegangan luluh ( $F_y$ ) : 38 KN
- Tegangan ultimate ( $F_u$ ) : 51.5 KN

Maka dapat dapat dihitung nilai yield strength dan ultimate strength sebagai berikut :

a.  $\sigma_y$  (Yield Strength)

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0} N/mm$$

$$\sigma_y = \frac{38}{86.49} \times 1000$$

$$\sigma_y = 439.3572 MPa$$

b.  $\sigma_{ult}$  (Ultimate Strength)

$$\sigma_y = \frac{F_{ult}}{A_0} N/mm$$

$$\sigma_y = \frac{51.5}{86.49} \times 1000$$

$$\sigma_y = 595.4445 MPa$$

Dari grafik hasil uji tarik dapat diketahui bahwa spesimen 4.1 memiliki :

- Tegangan luluh ( $F_y$ ) : 40 KN

- Tegangan ultimate ( $F_u$ ) : 54 KN

Maka dapat dapat dihitung nilai yield strength dan ultimate strength sebagai berikut :

a.  $\sigma_y$  (Yield Strength)

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0} N/mm$$

$$\sigma_y = \frac{40}{92.60} \times 1000$$

$$\sigma_y = 431.9654 MPa$$

b.  $\sigma_{ult}$  (Ultimate Strength)

$$\sigma_y = \frac{F_{ult}}{A_0} N/mm$$

$$\sigma_y = \frac{54}{92.60} \times 1000$$

$$\sigma_y = 583.1533 MPa$$

Dari grafik hasil uji tarik dapat diketahui bahwa spesimen 4.2 memiliki :

- Tegangan luluh ( $F_y$ ) : 43.5 KN

- Tegangan ultimate ( $F_u$ ) : 56 KN

Maka dapat dapat dihitung nilai yield strength dan ultimate strength sebagai berikut :

a.  $\sigma_y$  (Yield Strength)

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0} N/mm$$

$$\sigma_y = \frac{43.5}{95.55} \times 1000$$

$$\sigma_y = 455.2590 MPa$$

b.  $\sigma_{ult}$  (Ultimate Strength)

$$\sigma_y = \frac{F_{ult}}{A_0} N/mm$$

$$\sigma_y = \frac{56}{95.55} \times 1000$$

$$\sigma_y = 586.0806 MPa$$

**Perbandingan CSA Sebelum dan Sesudah Uji Tarik**

TEST PIECE CODE	SAMPLE SPESIFICATION			
	TESTING	WIDTH	THICKNESS	C.S.A
1.1	Before	19.01	5.06	96.19
	After	17.37	4.40	76.42
1.2	Before	18.45	4.88	90.03
	After	15.83	4.10	64.90
2.1	Before	18.31	5.25	96.12
	After	14.84	3.52	52.23
2.2	Before	18.95	5.05	95.69
	After	15.77	3.97	62.60
3.1	Before	18.23	4.92	89.69
	After	14.47	3.35	48.47
3.2	Before	18.27	4.75	86.78
	After	14.50	3.38	49.01
4.1	Before	18.57	4.96	92.60
	After	15.06	3.06	46.08
4.2	Before	18.81	5.08	95.55
	After	14.25	3.05	43.46



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL  
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA  
LABORATORIUM WELDING CENTER**

Jl. Teknik Kimia - Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111  
Telp. 031-5947188 Fax. 031-5925524  
[www.ppns.ac.id](http://www.ppns.ac.id)

**Name** : HASRI PALGUNADHI  
**Welding Procedure** : No.1 - 4 Date, 21 MARET 2017 SMAW  
**Welding Process(es)** : SMAW  
**Joints Design (QW-402)** : Butt Joint  
**Groove** : Single V  
**Base Metals (QW-403)** : Pipe ASTM A-53  
**Dimension** : D: 3 inch L: 300 mm T: 7 mm  
**Filler Metal** : E 7016  
**Positions (QW-405)** : 1G  
**GAS (es)** : -  
**Technique (QW-410)** : String or Weave  
**Preheating** : 0 °C, 100°C, 200°C, 300°C  
**Quantity** : 4 Specimen

**(Specimen 1) Temperature 0°C**

Weld Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel speed
		Class	Dia	Polarity	Ampere		
1	SMAW	E 7016	2,6	DCSP	75	20 - 24	95 <del>desk</del>
2	SMAW	E 7016	3,2	DCRP	90	20 - 26	108 <del>desk</del>

**(Specimen 2) Temperature 100°C**

Weld Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel speed
		Class	Dia	Polarity	Ampere		
1	SMAW	E 7016	2,6	DCSP	75	20 - 24	88 <del>desk</del>
2	SMAW	E 7016	3,2	DCRP	90	20 - 26	115 <del>desk</del>

**(Specimen 3) Temperature 200°C**

Weld Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel speed
		Class	Dia	Polarity	Ampere		
1	SMAW	E 7016	2,6	DCSP	75	20 - 24	90 <del>desk</del>
2	SMAW	E 7016	3,2	DCRP	90	20 - 26	100 <del>desk</del>

**(Specimen 4) Temperature 300°C**

Weld Layer	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	Travel speed
		Class	Dia	Polarity	Ampere		
1	SMAW	E 7016	2,6	DCSP	75	20 - 24	78 <del>desk</del>
2	SMAW	E 7016	3,2	DCRP	90	20 - 26	97 <del>desk</del>

## REPORT ON TEST RESULT NO. :

Page 1 of 4

DATE : 6 Juni 2017  
ORDER FROM : Hasri Palgunadhi  
TEST STANDARD : ASME IX  
WPS NO : 1  
JOINT DESIGN : Single V  
MATERIAL SPEC. : ASTM A53  
THICKNESS : 7 mm  
WELDING PROCESS : SMAW  
TEST POSITION : Vertical  
WELDER NAME :

### 1. TENSILE TEST

TEST PIECE CODE	VISUAL	SAMPLE SPECIFICATION					TENSILE TEST RESULTS		
		WIDTH (mm)	THICK. (mm)	C.S.A (mm <sup>2</sup> )	Fy (KN)	Fu (KN)	YIELD STRENGTH (MPa)	TENSILE STRENGTH (MPa)	BREAKING
1.1	Low	19.01	5.06	96.19	33.00	49.00	343.07	509.41	Weld Metal
1.2	Good	18.45	4.88	90.03	41.50	54.00	460.96	599.80	Base Metal

Equipment: Universal Testing Machine "MFL Systeme, UPD-20", 200 kN capacity.

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,

Tester Laboratory

Ships Strength and Construction



Didik Hatur Irianto

NIP. 19620115 198103 1 001

Hasil Uji Tarik Spesimen 1.1 dan 1.2



## REPORT ON TEST RESULT NO. :

Page 2 of 4

DATE : 6 Juni 2017  
ORDER FROM : Hasri Palgunadhi  
TEST STANDARD : ASME IX  
WPS NO : 2  
JOINT DESIGN : Single V  
MATERIAL SPEC. : ASTM A53  
THICKNESS : 7 mm  
WELDING PROCESS : SMAW  
TEST POSITION : Vertical  
WELDER NAME :

### 1. TENSILE TEST

TEST PIECE CODE	VISUAL	SAMPLE SPECIFICATION					TENSILE TEST RESULTS		
		WIDTH (mm)	THICK. (mm)	C.S.A (mm <sup>2</sup> )	Fy (KN)	Fu (KN)	YIELD STRENGTH (MPa)	TENSILE STRENGTH (MPa)	BREAKING
2.1	Good	18.31	5.25	96.12	38.00	55.00	395.34	572.20	Base Metal
2.2	Good	18.95	5.05	95.69	40.00	56.50	418.02	590.45	Base Metal

Equipment: Universal Testing Machine "MFL Systeme, UPD-20", 200 kN capacity.

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,

Tester Laboratory

Ships Strength and Construction



Didik Tjatur Irianto

NIP. 19620115 198103 1 001

**REPORT ON TEST RESULT NO. :**

3 of 4

Page

DATE : 6 Juni 2017  
ORDER FROM : Hasri Palgunadhi  
TEST STANDARD : ASME IX  
WPS NO : 3  
JOINT DESIGN : Single V  
MATERIAL SPEC. : ASTM A53  
THICKNESS : 7 mm  
WELDING PROCESS : SMAW  
TEST POSITION : Vertical  
WELDER NAME :

**1. TENSILE TEST**

TEST PIECE CODE	VISUAL	SAMPLE SPECIFICATION					TENSILE TEST RESULTS		
		WIDTH (mm)	THICK. (mm)	C.S.A (mm <sup>2</sup> )	Fy (KN)	Fu (KN)	YIELD STRENGTH (MPa)	TENSILE STRENGTH (MPa)	BREAKING
3.1	Good	18.23	4.92	89.69	36.00	51.50	401.38	574.20	Base Metal
3.2	Good	18.27	4.75	86.49	38.00	51.50	439.36	595.44	Base Metal

Equipment: Universal Testing Machine "MFL Systeme, UPD-20", 200 kN capacity.

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,

Tester Laboratory

Ships Strength and Construction



Didik Tjatur Irianto

NIP. 19620115 198103 1 001



## REPORT ON TEST RESULT NO. :

Page 1 of 2

DATE : 6 Juni 2017  
ORDER FROM : Hasri Palgunadhi  
TEST STANDARD : ASME IX  
WPS NO : 1  
JOINT DESIGN : Single V  
MATERIAL SPEC. : ASTM A53  
THICKNESS : 7 mm  
WELDING PROCESS : SMAW  
TEST POSITION : Vertical  
WELDER NAME :

### 1. TENSILE TEST

TEST PIECE CODE	VISUAL	SAMPLE SPECIFICATION					TENSILE TEST RESULTS		
		WIDTH (mm)	THICK. (mm)	C.S.A (mm <sup>2</sup> )	Fy (KN)	Fu (KN)	YIELD STRENGTH (MPa)	TENSILE STRENGTH (MPa)	BREAKING
4.1	Good	18.67	4.96	92.60	40.00	54.00	431.97	583.15	Base Metal
4.2	Good	18.81	5.08	95.55	43.50	56.00	455.26	586.08	Base Metal

Equipment: Universal Testing Machine "MFL Systeme, UPD-20", 200 kN capacity.

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,

Tester Laboratory

Ships Strength and Construction



Didik Tjatur Irianto

NIP. 19620115 198103 1 001

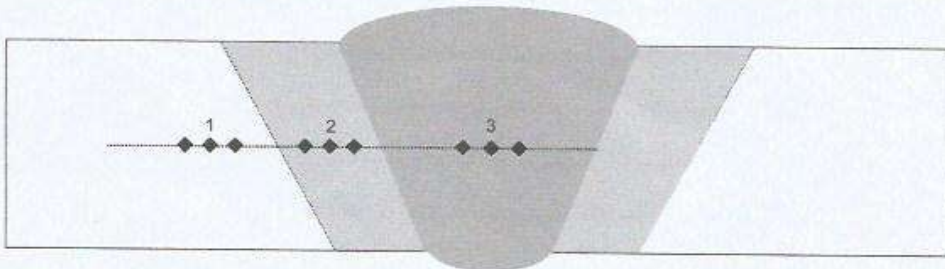


## REPORT ON TEST RESULT NO. :

Page 1 of 4

DATE : 8 Juni 2017  
ORDER FROM : Hasri Palgunadhi  
TEST STANDARD : ASME IX  
WPS NUMBER : 1  
PQR NUMBER : 1  
JOINT DESIGN : Single V  
MATERIAL SPEC. : ASTM A53  
DIAMETER : 3 inch  
THICKNESS : 7 mm  
WELDING PROCESS : SMAW  
FILLER METAL : E 7016, E 7018  
WELDING POSITION : 1 G  
WELDER NAME :  
PROJECT NAME : Tugas Akhr

### HARDNESS TEST



Location	Vickers Hardness Number (HV. 10)								
	Base Metal			HAZ			Weld Metal		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Non	155.6	148.4	160.9	181.2	173.1	175.3	206.3	214.7	211.3
Average	154.9666667			176.5333333			210.7666667		

Equipment: Hardness Tester "Digital Micro Vickers Hardness Tester Time TH712"

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,

Tester Laboratory  
Ships Strength and Construction  
  
Didik Tjatur Irianto  
NIP. 19620115 198103 1 001

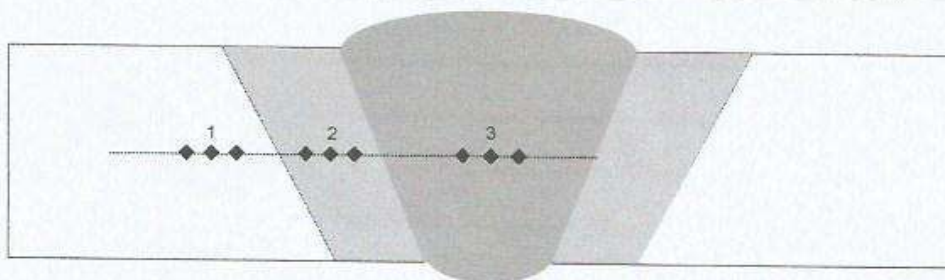
Hasil Uji Kekerasan Spesimen Tanpa Preheating

## REPORT ON TEST RESULT NO. :

Page 2 of 4

DATE : 8 Juni 2017  
ORDER FROM : Hasri Palgunadhi  
TEST STANDARD : ASME IX  
WPS NUMBER : 2  
PQR NUMBER : 2  
JOINT DESIGN : Single V  
MATERIAL SPEC. : ASTM A53  
DIAMETER : 3 inch  
THICKNESS : 7 mm  
WELDING PROCESS : SMAW  
FILLER METAL : E 7016, E 7018  
WELDING POSITION : 1 G  
WELDER NAME :  
PROJECT NAME : Tugas Akhr

### HARDNESS TEST



Location	Vickers Hardness Number (HV. 10)								
	Base Metal			HAZ			Weld Metal		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
100°C	163.3	166.1	168.8	179.2	189.5	187.1	200.2	208.8	205.2
Average	166.066667			185.266667			204.733333		

Equipment: Hardness Tester "Digital Micro Vickers Hardness Tester Time TH712"

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,

Tester Laboratory  
Ships Strength and Construction  
  
Didik Tjatur Irianto  
NIP. 19620115 198103 1 001

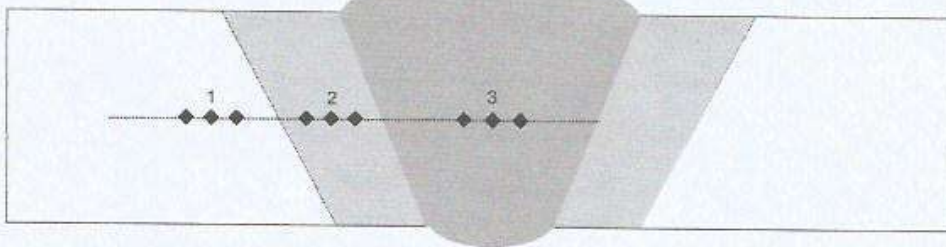


## REPORT ON TEST RESULT NO. :

Page 3 of 4

DATE : 8 Juni 2017  
ORDER FROM : Hasri Palgunadhi  
TEST STANDARD : ASME IX  
WPS NUMBER : 3  
PQR NUMBER : 3  
JOINT DESIGN : Single V  
MATERIAL SPEC. : ASTM A53  
DIAMETER : 3 inch  
THICKNESS : 7 mm  
WELDING PROCESS : SMAW  
FILLER METAL : E 7016, E 7018  
WELDING POSITION : 1 G  
WELDER NAME :  
PROJECT NAME : Tugas Akhr

### HARDNESS TEST




Location	Vickers Hardness Number (HV. 10)								
	Base Metal			HAZ			Weld Metal		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
200°C	171.3	161.1	165.9	191.4	182.5	190.9	187.8	197.4	203.9
Average	166.1			188.266667			196.366667		

Equipment: Hardness Tester "Digital Micro Vickers Hardness Tester Time TH712"

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,

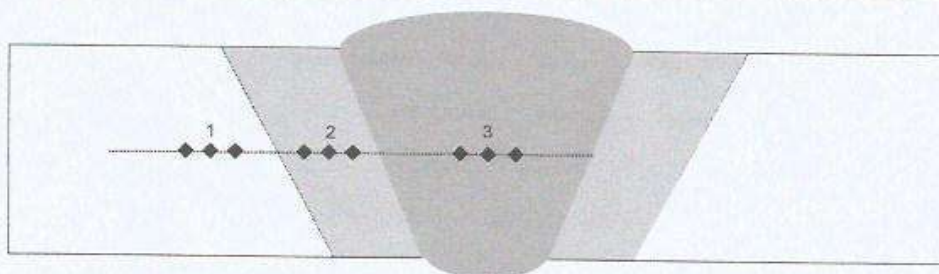
Tester Laboratory  
Ships Strength and Construction  
  
Didik Hatur Irianto  
NIP. 19620115 198103 1 001

# REPORT ON TEST RESULT NO. :

Page 4 of 4

DATE : 8 Juni 2017  
 ORDER FROM : Hasri Palgunadhi  
 TEST STANDARD : ASME IX  
 WPS NUMBER : 4  
 PQR NUMBER : 4  
 JOINT DESIGN : Single V  
 MATERIAL SPEC. : ASTM A53  
 DIAMETER : 3 inch  
 THICKNESS : 7 mm  
 WELDING PROCESS : SMAW  
 FILLER METAL : E 7016, E 7018  
 WELDING POSITION : 1 G  
 WELDER NAME :  
 PROJECT NAME : Tugas Akhr

## HARDNESS TEST



Location	Vickers Hardness Number (HV. 10)								
	Base Metal			HAZ			Weld Metal		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
300°C	177	164.1	157.7	187.6	190.7	195.5	176.1	180.7	174
Average	166.266667			191.266667			176.933333		

Equipment: Hardness Tester "Digital Micro Vickers Hardness Tester Time TH712"

NOTES : This report is valid only for the specimen tested on the Laboratory of Ships Strength and Construction

Witnessed by,

Tester Laboratory  
 Ships Strength and Construction  
  
 Didik Tiatur Irianto  
 NIP. 19620115 198103 1 001

Hasil Uji Kekerasan Spesimen dengan *Preheating* 300°C

# **LAMPIRAN 2**

## **Dokumentasi Penelitian**





***Back Weld Pengelasan Tanpa Preheating***



***Back Weld Pengelasan dengan Preheating 100°C***



***Back Weld Pengelasan dengan Preheating 200°C***



***Back Weld Pengelasan dengan Preheating 300°C***



**Spesimen Untuk Uji Korosi, Uji Tarik, Uji Kekerasan dan Uji Metalografi**